

Maaperän hengitys eri- ja tasaikäisrakenteisissa kuusikoissa

Atte Kumpu
Pro gradu -tutkielma
Helsingin Yliopisto
Metsätieteiden laitos
Heinäkuu 2015

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous- metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Metsätieteiden laitos
Tekijä/Författare – Author Atte Kumpu		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Maaperän hengitys eri- ja tasaikäisrakenteisissa kuusikoissa		
Oppiaine / Läroämne – Subject Metsäekologia		
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu-tutkielma	Aika/Datum – Month and year Heinäkuu 2015	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 46
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Suomen metsät toimivat yleensä hiilinieluna, mutta avohakkuun jälkeen metsä muuttuu hiilen nettolähteeksi usean vuoden ajaksi. Käyttämällä jatkuvaa kasvatusta metsä säilyy jatkuvasti peitteisenä ja näin vähennetään metsämaassa tapahtuvia, hakkuiden aiheuttamia muutoksia, jotka lisäävät hajotusnopeutta ja kasvattavat maaperän hiilidioksidipäästöjä.</p> <p>Tässä tutkimuksessa mitattiin metsämaan hiilidioksidivuon suuruutta eri- ja tasaikäisrakenteisissa kuusikoissa, maastoon sijoitetuilla pysyviltä mittauspisteiltä kesän 2013 aikana. Aineisto kerättiin Metlan ERIKA koealoilta Latokartanon palstalta Lapinjärveltä. Koealoina toimi kaksi jatkuvan kasvatuksen koealaa Lap01 (lehto) ja Lap13 (MT), sekä vertailuna avohakkuuala (Lehto) ja tasaikäinen varttunut kuusikko (MT). Jatkuvan kasvatuksen koealoille sijoitettiin 14 mittauspistettä/koeala, jotka jaettiin valo- ja varjopisteisiin. Avohakkuualalle ja tasaikäiselle kuusikolle sijoitettiin 10 kaulusta molemmille. Hiilidioksidivuon lisäksi mittauspisteiden maaperän lämpötilaa ja kosteutta seurattiin ja kaikilta pisteiltä kerättiin maaperänäytteet. Koealojen kenttäkerrokselle tehtiin myös kasvillisuuskartoitukset. Tulosten perusteella selvitettiin eroa jatkuvan kasvatuksen metsä tasaikäisrakenteisesta metsästä.</p> <p>Hiilidioksidivuon suuruus koko kesän keskiarvona oli korkein avohakkuualalla: 0,234 mg/m²/s, jatkuvan kasvatuksen koealoilla Lap01 ja Lap13 keskiarvot olivat: 0,197 ja 0,171 mg/m²/s ja pienin vuokeskiarvo mitattiin tasaikäisellä koealalla: 0,142 mg/m²/s. Jatkuvan kasvatuksen- ja vastaavien ravinteisuusluokkien tasaikäisrakenteisten koealojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa hiilidioksidivuon suuruudessa. Jatkuvan kasvatuksen koealojen valopisteiltä vapautui huomattavasti enemmän hiilidioksidia kuin varjopisteiltä. Maaperän lämpötilan ja kosteuden osalta jatkuvan kasvatuksen ja tasaikäisrakenteisten koealojen välillä ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Maaperän lämpötilan ja kosteuden suhdetta maaperän hengitykseen tarkasteltaessa havaittiin että hiilidioksidivuo kasvoi lineaarisesti lämpötilan kasvaessa. Maaperän kosteuden kasvaessa hiilidioksidivuo kasvoi aluksi nopeasti, mutta tasaantui pian.</p> <p>Jatkuvalla kasvatuksella ei voida välttää maaperästä tulevaa hiilidioksidivuopiikkiä hakkuiden jälkeen, mutta koska valo- ja varjopisteiden maaperän hengityksen suuruudessa on iso ero, voidaan epäillä, että jatkuvan kasvatuksen alaisen metsikön maaperän hiilidioksidipäästöihin pystytään vaikuttamaan säätelämällä hakkuiden laajuutta. Eri-ikäisrakenteisen metsän maaperän hengityksestä kaivattaisiin lisää tutkimustietoa, tulevaisuudessa olisi tärkeää selvittää hiilidioksidivuon käyttäytymistä pitkällä aikavälillä ja selvittää maaperän hiilivarastojen kehitys useamman hakkuukerran jälkeen jatkuvan kasvatuksen metsässä.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Jatkuva kasvatusta, eri-ikäisrakenteinen, tasaikäisrakenteinen, hiilidioksidivuo, respiraatio, maaperän hengitys, maaperän lämpötila, maaperän kosteus, pintakasvillisuus		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin Tiedekirjasto, Metsätieteiden laitos		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		

1. Johdanto	4
1.1 Työn tausta	4
1.2 Jatkuvan kasvatuksen soveltuvuus Suomen oloihin	4
1.3 Metsän tuotto ja taloudellisuus.....	5
1.4 Metsä hiilinieluna.....	6
Kuva 1.	7
1.5 Työn tavoitteet ja tutkimustavoitteet.....	9
2. Aineisto ja menetelmät.....	9
2.1.1 Mittauspisteet	9
Kuva 2.	10
2.1.2 Laitteet.....	10
2.1.3 Mittaus.....	10
Kuva 3.	11
2.2 Maanäytteet	12
2.3 Kasvillisuuskartoitus	12
2.4 Tilastolliset menetelmät	13
3. Tulokset.....	15
3.1.1 Maaperän hengitys	15
Kuva 4.	16
Taulukko 1.	16
Taulukko 2.	17
3.1.2 Valo ja varjopisteet	17
Kuva 5.	17
Taulukko 3	18
3.2.1 Maaperän kosteus.....	18
Kuva 6.	19
3.2.2 Maaperän lämpötila.....	19
Kuva 7.	20
3.2.3 Hiilidioksidivuon suhde maaperän kosteuteen ja lämpötilaan.....	21
Taulukko 4	21
Taulukko 5	22
3.3.1 Maanäytteet	22
Taulukko 6	23
Taulukko 7	23
Kuva 8.	25
3.3.2 Hiilidioksidivuon suhde maanäytteisiin	25
Kuva 9.	26
3.3.3 Maaperänäytteiden respiraatiomittaus	27
3.4 Kasvillisuus	27
Kuva 10.	28

4. Tulosten tarkastelu	28
4.1 Maaperän hengitys jatkuvan kasvatuksen ja tasaikäisrakenteisilla koealoilla	28
4.2 Valo- ja varjopisteet	29
4.3 Kenttäkerroksen kasvillisuus	30
Kuva 11.	31
4.4 Kosteus ja lämpötila	32
4.5 Maanäytteet	33
4.6 Tulosten luotettavuus	34
5. Johtopäätökset	35
6. Kiitokset	36
7. Lähteet	37
8. Liitteet	40
8.1 Hiilidioksidivuon suhde maaperän lämpötilaan ja kosteuteen	40
8.2 Pintakasvillisuuden lajiston peittävyys mittauspisteillä	41

1. Johdanto

1.1 Työn tausta

Kiinnostus jatkuvaa kasvatusta kohtaan on lisääntynyt viime vuosien aikana ja uuden metsälain myötä siitä on myös tulossa käyttökelpoinen metsänhoitomenetelmä. Uuden tutkimustiedon perusteella jatkuvalla kasvatuksella voidaan päästä taloudellisesti hyviin tuloksiin (Tahvonen 2007, Pukkala ym. 2011, Tahvonen 2011), mutta epäselvää on kuinka menetelmä vaikuttaa metsämaan hiilen kiertoon.

Tasaikäisrakenteeseen perustuvaan metsänhoitoon kuuluu avohakkuu ja usein maanmuokkaus, jonka seurauksena maaperän lämpö- ja kosteusolot muuttuvat useaksi vuodeksi, mikä saattaa nopeuttaa karike- ja humuskerroksessa olevan hiilen vapautumista. Maaperän kosteusprosentti vaikuttaa hiilidioksidivuon suuruuteen, koska vesi vaikuttaa maan mikrobien toimintaan ja säätelee näin osaltaan hajotusnopeutta (Skopp ym. 1990). Tunnetusti myös maaperän lämpötilan kasvu nopeuttaa hajotusnopeutta (Kätterer 1998).

Avohakkuuala toimii hiilen nettolähteenä (Kolari ym. 2004) kunnes taimikon ja muun kasvillisuuden sitoman hiilen määrä ylittää orgaanisen aineen hajoamisesta vapautuvan hiilen määrän ja metsikkö on muuttunut ekosysteemitasolla taas hiilinieluksi. Jos jatkuvalla kasvatuksella vältetään avohakkuun aiheuttamalta häiriöltä, voidaan olettaa, että tällainen metsä kerryttää maaperään enemmän hiiltä kuin tasaikäisrakenteinen metsä. Tässä tutkielmassa on tarkoitus selvittää mittauksilla, kuinka paljon jatkuvan kasvatuksen metsä eroaa perinteisestä kiertoaikaan perustuvasta tasaikäisrakenteisesta metsästä maaperästä vapautuvan hiilidioksidin osalta ja tutkia hiilidioksidivuon suuruuteen vaikuttavia tekijöitä.

1.2 Jatkuvan kasvatuksen soveltuvuus Suomen oloihin

Perinteistä kiertoaikaan perustuvaa metsänhoitoa on yleensä perusteltu metsän luontaisella sukkessiolla. Rajun häiriön, kuten metsäpalon tai suuren myrskytuhon jälkeen metsä kehittyy useiden vaiheiden kautta kohti melko samanlaista kliimaksitilaa, jossa se oli ennen häiriötä, ja uuden tuhon jälkeen samat vaiheet toistuvat uudestaan

(Cajander 1925). Tällaisen suuren kierron idean käyttäminen metsätalouden mallina on kuitenkin kyseenalaista, koska Suomen oloissa suuret, koko metsän uudistavat häiriöt näyttäisivät olevan harvinaisia luonnontilaisissa metsissä (Rouvinen ym. 2002).

Hokkasen ja Ieshkon (1995) mukaan Itä-Suomen alueella luonnontilaisen kaltaisissa kuusivaltaisissa metsissä metsäpalojen väli on saattanut olla yli 300 vuotta. Ajatus metsäpalojen yleisyydestä on peräisin kasken ja tervan polton ajoilta, jolloin metsää todellakin paloi tiheään (Simola 1995, Lähde ym. 1999a). Suomen oloissa luonnontilaisissa metsissä paloalueiden sisällä on lisäksi runsaasti pienipiirteistä vaihtelua. Osa paloalueesta säästyy erilaisten kosteusolojen, kasvillisuuden tai topografian ansiosta (Hokkanen & Ieshko 1995), joten suuret yhtenäiset paloalueet ovat harvinaisia.

Jatkuvaa kasvatusta puoltaa myös suomalaisten muuttuneet asenteet perinteisiä metsänhoitomenetelmiä kohtaan. Valkeapään (2009) mukaan 69 % kansalaisista ei hyväksy avohakkuuta. Metsän moniarvoisuus on noussut tärkeäksi kysymykseksi, puuntuotoksen ja taloudellisen tuoton rinnalle ovat ilmestyneet ekosysteemipalvelut, maisema-arvot ja luonnon itseisarvo. Muuttuviin tavoitteisiin ei enää välttämättä sovi avohakkuun kaltainen, metsäekosysteemiä dramaattisesti muuttava menetelmä.

1.3 Metsän tuotto ja taloudellisuus

Jatkuvan kasvatuksen puuntuotoksesta Suomen oloissa on olemassa vaihtelevaa tietoa. Pitkän aikavälin kattavia kokeita ei ole, joten arviot perustuvat yleensä erilaisiin mallituksiin (Pukkala ym. 2011). Näyttää siltä että sopivalla paikalla jatkuvalla kasvatuksella on mahdollista päästä perinteistä kiertoaikaan perustuvaa menetelmää parempaan puuntuotokseen (Lähde ym. 2001).

Parempi kasvu perustuu siihen, että poistamalla etupäässä isompia puita kasvu keskittyy nuorempiin puihin joiden kasvu ei ole vielä hidastunut, kuten suuremmilla puilla jotka tilan vapauduttua lähtevät nopeaan kasvuun (Lähde ym. 1999b). Jos siis metsikössä pystytään pitämään yllä sopivaa eri-ikäisrakennetta, osa puustosta on koko ajan hyvässä kasvuvaiheessa. Toisten mallien mukaan (Pukkala 2009, Tahvonen 2011) jatkuva kasvatus ei aivan yllä puuntuotoksen osalta tasaikäisen metsän tasolle, mutta

uudistuksessa säästettävien kustannusten myötä siitä tulee taloudellisesti kannattavampaa kuin tasaikäisen metsikön kasvatuksesta.

Jatkuvan kasvatuksen taloudellisuus paranee siis mahdollisesti paremman puuntuotoksen takia sekä siksi, että syntyy säästö, kun ei tarvitse tehdä raivausta, maanmuokkausta tai istutusta. Tahvonen (2007) Esittää että optimoimalla jatkuvalla kasvatuksella voidaan päästä jopa 30 % parempaan tulokseen (nykyarvolla mitattuna) kuin perinteisellä metsänhoidolla. Pukkalan ym. (2011) mukaan jatkuva kasvatuksella päästään perinteistä metsänhoitoa parempaan taloudelliseen tulokseen erityisesti silloin kun korkovaatimus on korkeampi, puun hinta on pienempi, metsänhoidon kustannukset kasvavat tai kasvupaikka on huono.

Nämä paremmat taloudelliset tulokset perustuvat yleensä sille ajatukselle, ettei puunkorjuu maksa enempää jatkuvan kasvatuksen menetelmillä hoidetussa metsässä kuin normaalissa tasarakenteisessa metsässä. Tähän liittyy tietysti ongelmia, koska jatkuvan kasvatuksen hakkuiden kustannuksista ei ole riittävästi tietoa, ja on selvää, että yhdestä poimintahakkuukerrasta saadaan aina vähemmän puuta kuin avohakkuusta.

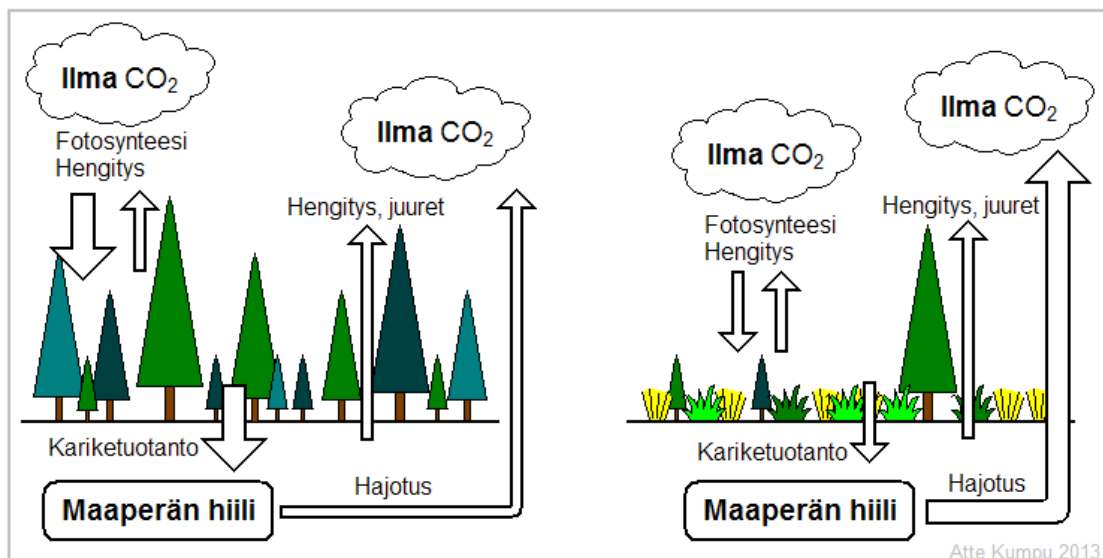
On kuitenkin muistettava, että jatkuvan kasvatuksen metsässä eteen voi myös tulla tilanne, jossa luontaisesti syntynyttä taimiainesta ei ole riittävästi, tai se on jakautunut liian epätasaisesti metsikössä. Tällöin edessä voi olla täydennysistutusten tekeminen tai kevyt maanmuokkaus riittävän uudistumisen takaamiseksi. Rehevimmillä kasvupaikoilla harvaan asentoon hakatun metsikön pohja saattaa myös heinittyä. Jatkuva kasvatus ei siis automaattisesti tarkoita vapautumista kaikista uudistamistoimenpiteistä, mutta näyttää kuitenkin siltä, että uudistamisessa yleisesti päästään halvemmalla kuin tasaikäisrakenteisuuden perustuvassa metsätaloudessa (Pukkala ym. 2011).

1.4 Metsä hiilinieluna

Suomalaisissa olosuhteissa metsäekosysteemi toimii yleensä hiilen nieluna (Kauppi ym. 1992). Puut ja metsän muut kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidia ja varastoivat näin hiiltä rakenteisiinsa. Osa hiilestä päättyy karikkeen mukana maaperään joko maanpinnalle pudonneesta kuolleesta kasvimateriaalista, tai kuolleista juurista. Hiiltä

myös vapautuu takaisin ilmakehään kasvien elintoiminnoista johtuvan hengityksen takia (autotrofinen respiraatio) ja kuolleen orgaanisen aineen hajoamisen seurauksena vapautuvista kaasuista (heterotrofinen respiraatio) (Ashton 2012).

Vesala ym. (2005) havaitsivat, että eteläsuomalaisessa männikössä tehdyt harvennushakkuut eivät vaikuttaneet merkittävästi metsäekosysteemin nettoperustuotantoon, koska kenttäkerroksen kasvillisuuden lisääntynyt yhteyttäminen ja vähentynyt autotrofinen respiraatio kumosivat vähentyneen puuston ja heterotrofisen respiraation aiheuttamat vaikutukset. Tämä saattaa päteä myös eri-ikäisrakenteiseen kuusikkoon, jossa ei koskaan tehdä päätehakkuuta vaan toistuvia poimintahakkuita.



Kuva 1. Yksinkertaistettu kaavio hiilen kierrosta jatkuvan kasvatuksen metsässä ja avohakkuualalla. Avohakkuun jälkeen orgaanisen aineen hajotusnopeus kiihtyy ja tuotetun karikkeen laatu muuttuu, mikä vaikuttaa maaperän hiilivarastoon.

Puuyksilön kyky sitoa hiiltä riippuu yhteyttämisen tehokkuudesta ja varastointikapasiteetista (Karjalainen 1996). Tämä tarkoittaa siis sitä, että suotuisissa oloissa puu voi vapaasti panostaa yhteyttämiseen ja käyttää suurimman osan sidotusta hiilestä kasvamiseen. Ekosysteemitasolla hiilivaraston kokoon vaikuttaa myös metsän ikä. Vanhassa metsässä kuolleen orgaanisen aineen määrä on yleensä suurempi kuin nuorissa metsissä, jolloin koko ekosysteemin hiilivarastoa kasvattavat elävien puiden lisäksi lahopuut, paksu karikekerros ja hitaasti kasvava maaperän hiilivarasto.

Metsämaahan varastoitunut hiili on tärkeä tekijä, kun puhutaan metsäekosysteemin hiilen kierrosta. Noin kaksi kolmasosaa kaikesta maaekosysteemien sisältämästä hiilestä on maan alla (Post 1982, IGBP Terrestrial Carbon Working Group 1998) ja toisaalta yli 30 % siitä löytyy boreaaliselta vyöhykkeeltä (Deluca & Boisvenue 2012). Maaperän hiilen määrä riippuu kariketuotannosta ja hajotusnopeudesta (Lloyd 1999). Jotta saataisiin selville metsämaan hiilen kiertonopeus eli se, kuinka nopeasti kasvien sitoma hiili palaa takaisin ilmakehään, täytyy arvioida vuodessa syntyvän karikkeen määrä ja verrata sitä maaperän hengitykseen, eli maaperästä vapautuvaan hiilidioksidiin.

Oletettavasti jatkuvan kasvatuksen metsä ja tasaikäisrakenteinen metsä eivät eroa merkittävästi toisistaan kariketuotannon tai autotrofisen respiraation osalta mutta heterotrofisessa respiraatioissa saattaa olla eroja. Tämä näyttää todennäköiseltä, koska jatkuvan kasvatuksen metsä on rakenteeltaan avoimempi, mikä tarkoittaa metsänpohjalle erilaisia lämpö- ja kosteusoloja tasaikäiseen metsään verrattuna. Maaperän lämpö ja kosteus ovat tärkeitä tekijöitä maaperän mikrobitoiminnan kannalta (Skopp ym. 1990, Kätterer 1998).

Mitä vähemmän maaperä altistuu häiriöille, sitä paremmin se yleensä säilyttää itseensä varastoituneen hiilen (Ashton 2012). Mikäli siis jatkuvalla kasvatuksella vältytään avohakkuun ja maanmuokkauksen aiheuttamilta häiriöiltä, voidaan olettaa, että näin hoidettu metsä varastoisi pitkällä aikavälillä maaperään enemmän hiiltä kuin tasaikäisrakenteisena hoidettu metsä.

Talousmetsien hiilen varastointia tarkasteltaessa on syytä muistaa että puun käyttökohde vaikuttaa aikaan jonka hiili on poissa ilmakehästä. Pienikokoinen puu käytetään yleensä paperin valmistukseen tai energiapuuksi, jolloin puuaineeseen sitoutunut hiili vapautuu varsin pian ilmakehään hiilidioksidin muodossa. Tukkipuu, joka käytetään rakentamiseen, säilyttää itseensä varastoidun hiilen potentiaalisesti hyvinkin pitkään. Lisäksi jos puulla korvataan esimerkiksi terästä ja betonia rakennusmateriaalina säästytään näiden materiaalien valmistuksesta syntyvistä korkeista hiilidioksidipäästöistä (Gustavsson & Sathre 2006). Jatkuvan kasvatuksen metsä, joka tuottaa pääasiassa tukkipuuta, on siis hyvin houkutteleva vaihtoehto CO₂-päästöjä ajatellen.

1.5 Työn tavoitteet ja tutkimustavoitteet

Tämän tutkielman päätavoitteena on mitata maaperän respiraatiota eri- ja tasaikäiskuusikoissa kasvukauden aikana ja selvittää mahdollisten erojen suuruus. Toisena tavoitteena on tarkastella jatkuvan kasvatuksen vaikutusta maaperän lämpötilaan ja kosteuteen, ja toisaalta niiden vaikutusta maaperän hengitykseen. Kolmantena tavoitteena on tarkastella maaperän respiraation ja maaperän sisältämän hiilen välistä korrelaatiota, sekä selvittää vaikuttaako jatkuva kasvatus metsämaan hiilivarastoon. Viimeisenä tavoitteena on kartoittaa eri- ja tasaikäisrakenteisen metsän kenttäkerroksen kasvillisuutta ja eroa lajikoostumuksessa hoitomenetelmien välillä.

Tässä tutkimuksessa selvitetään maaperän respiraatiota kasvukauden aikana tasa- ja eri-ikäisrakenteisessa kuusikossa. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Onko maaperän respiraatiosta eroja eri- ja tasaikäisrakenteisen kuusikoiden välillä?
2. Voidaanko eroja selittää mittauspisteen sijoittumisella valo- tai varjopaikalle, joka voisi vaikuttaa maaperän kosteuteen tai lämpötilaan?
3. Voidaanko eroja selittää vastaavilla eroilla maaperän kosteudessa ja lämpötilassa?
4. Onko maaperän respiraatiolla ja maaperän hiilivaraston suuruudella korrelaatio?

Tämän lisäksi kartoitetaan kenttäkerroksen kasvillisuuden lajikoostumusta.

Pintakasvillisuus on tärkeä tekijä koska se vaikuttaa syntyvän karikkeen määrään ja laatuun. Tutkimuskysymyksenä on:

5. Onko eri- ja tasaikäisrakenteisen kuusikoiden välillä eroa kenttäkerroksen kasvillisuuden lajikoostumuksessa?

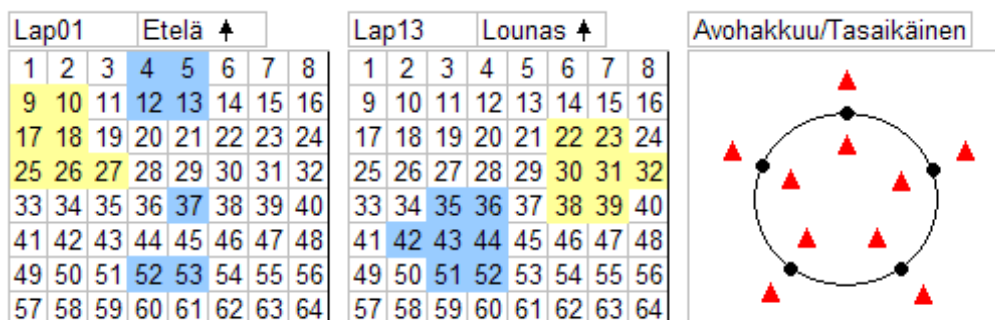
2. Aineisto ja menetelmät

2.1.1 Mittauspisteet

Aineisto kerättiin Metlan ERIKA koealoilta Latokartanon palstalta Lapinjärveltä.

Koealoina toimi kaksi jatkuvan kasvatuksen koealaa joiden pääpuulaji oli kuusi (*Picea abies*) Lap01 (lehto) ja Lap13 (MT), sekä vertailuna avohakkuuala (Lehto) ja tasaikäinen varttunut kuusikko (MT). Jatkuvan kasvatuksen koealoille sijoitettiin 14 kaulusta per koeala siten, että valo- ja varjopaikoille tuli kullekin 7 mittauspistettä.

Avohakkuualalle ja tasaikäiselle kuusikolle sijoitettiin 10 kaulusta molemmille. Kaulus tehtiin halkaisijaltaan 20 cm PVC-putkesta joka upotettiin maahan noin 5 cm syvyydelle ja sen reunat eristettiin hiekalla (Pumpanen 2003). Kauluksen sisälle jääviä kasveja ei lähtökohtaisesti poistettu, mutta suurempia kasveja leikattiin ennen mittausta siten että ne mahtuivat kunnolla kammion sisälle.



Kuva 2. Kaulusten sijoittelu ERIKA koealoille (Lap01 ja Lap13), koealojen koko on 40x40 metriä ja ne on jaettu 64 5x5 metriä kokoiseen ruutuun joista on valittu 7 valo- ja 7 varjoruutua mittauspisteeksi (keltainen = valo, sininen = varjo). Avohakkuu- ja tasaikäisen metsän koealat ovat ympyräkoealoja joihin on sijoitettu mittauspisteet (punainen kolmio) molemmiin puolin kehää joka on 6 metrin päässä keskipisteestä, kohtiin joihin on sijoitettu karikepussit.

2.1.2 Laitteet

Mittauksessa käytettiin niin kutsuttua suljetun kierron kammiota (Parkinson 1981). Kammion mittalaitteena toimii Vaisala MI70 2.05 -lukija johon on liitetty CO₂-anturi, Vaisala malli GMP343 2.10 ja ilman lämpö- ja kosteusanturi, Vaisala HMP70Bc 3.09. Itse kammio oli 6 dm³ (0,2 m halkaisija ja 0,3 m korkea) muovista valmistettu lieriö, joka oli vuorattu foliolla auringonvaloa vastaan ja pohjustettu tiivisteillä, jotta se istui hyvin kauluksen päällä. Maaperän kosteuden mittaamiseen käytettiin Delta-T Devices Ltd:n Theta probe ML2x maaperän kosteus-sensoria, laite oli kalibroitu orgaaniselle maa-ainekselle, koska kosteus mitattiin maan pinnasta. Maaperän lämpötila mitattiin tavallisella digitaalisella termistori lämpömittarilla.

2.1.3 Mittaus

Maaperän hiilidioksidivuon mittaamista varten kammio asetettiin tiiviisti kauluksen päälle siten, että kammion tuuletin oli päällä, jotta kammion sisällä oleva ilma sekoittuisi. Sitten ilman hiilidioksidipitoisuus tarkastettiin lukijasta ja varmistettiin, että

se oli suuruusluokaltaan noin 400 ppm ja että lukema kasvoi tasaisesti, jolloin voitiin olla varmoja että kammio on tiivis, tämän jälkeen mittaus aloitettiin.

Mittauksen kesto oli 5 minuuttia ja mittausväli 15 sekuntia, jolloin yhdestä mittauksesta saatiin 20 mittauspistettä. Mittauksia tehtiin kerran viikossa jokaisella koealalla, läpi koko kesän (20. toukokuuta – 27. elokuuta 2013). Mittaukset kestivät yleensä aamupäivästä iltapäivään, joten koealojen mittausjärjestystä muutettiin viikoittain, jolloin mahdolliset, kellonajoista johtuvat erot hiilidioksidivuon suuruudessa tasaantuisivat.



Kuva 3. Kammio mittausvalmiina, tiiviisti asennettuna maahan upotetun kauluksen päälle. Kuvissa lehtokoealat, vasemmalla Lap01 ja oikealla Avohakkuu.

Tiedot kammion hiilidioksidipitoisuudesta tallentuivat lukulaitteelle, josta ne siirrettiin myöhemmin tietokoneelle käsittelyä varten. Hiilidioksidivuon suuruus ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$) laskettiin hiilidioksidipitoisuuden ja ajan välisen lineaarisen regressioon, kammion tilavuuden ja kauluksen pinta-alan perusteella (Pumpanen 2003).

Kosteus mitattiin kaulusten vierestä aina kahteen kertaan koska kosteuden suuruuden vaihtelut olivat paikoitellen merkittäviä hyvinkin pienellä alueella, joten lopulliset maaperän kosteusarvot laskettiin kahden lukeman keskiarvona. Kaulusten kohdilta mitattiin aina myös maaperän lämpötila, mittari asetettiin noin 5-10 cm syvyydelle riippuen sammal- ja karikekerroksen paksuudesta siten, että anturi ylsi kivennäismaahan asti ja sen annettiin olla maassa 3-4 minuuttia.

2.2 Maanäytteet

Maaperän heterotrofisen respiraation määrittämistä varten jokaisen kauluksen vierestä kerättiin kesäkuussa 2013 kairanäyte. Näytepalat tulivat halkaisijaltaan 45mm levyisiin ja 100mm pitkiin PVC -muoviputkiin ja ne otettiin maan pinnasta noin 0,5m päästä kauluksesta mikäli maan kivisyys sen salli. Näytteet pakattiin putkien kanssa tiiviisiin muovipusseihin ja varastoitiin reiluksi kuukaudeksi kylmävarastoon jotta niiden sisältämät juurten osat kuolisivat.

Kylmävarastoinnin jälkeen kairanäytteet suljettiin ilmatiiviisiin, pienillä tuulettimilla varustettuihin kapseluihin, joiden läpi puhallettiin ilmaa 0,9 l/min. Kapselit upotettiin veteen, jolloin niiden lämpötila pysyi jatkuvasti noin +10 °C. Sisään menevän ja ulos tulevan ilman hiilidioksidipitoisuutta tarkkailtiin LI 800 kaasuanalysaattorilla. Hiilidioksidipitoisuuksien erotuksen perusteella arvioitiin kairanäytteestä vapautuvan hiilidioksidin määrä.

Maaperänäytteiden sisältämän hiilen määrittämiseksi näytteistä eroteltiin humus- ja kivennäismaakerrokset, jotka kuivattiin +60 °C asteen lämpötilassa 24 tunnin ajan ja siivilöitiin 2mm seulalla. Näytteet punnittiin ennen kuivausta ja sen jälkeen, sekä vielä kerran siivilöinnin jälkeen, lopuksi näytteet jauhettiin. Jauhetut humus- ja kivennäismaanäytteet analysoitiin Elementar Analysensysteme GmbH:n Vario MAX -laitteella joka mittasi näytteiden hiili- ja typpipitoisuuden. Näytekoot olivat n 500mg humukselle ja n 500-1000mg kivennäismaalle.

2.3 Kasvillisuuskartoitus

Jatkuvan kasvatuksen menetelmien vaikutusta kasvilajistoon selvitettiin kasvillisuuskartoituksella jonka avulla pyrittiin selvittämään koealojen kenttäkerroksen lajikoostumusta. Kartoitus toteutettiin kasvuruuduilla joiden koko oli 2m² ja ne sijoitettiin jokaisen mittauspisteen läheisyyteen seuraavasti: Lap01, 1m kauluksesta etelään; Lap13, 1m kauluksesta lounaaseen; Tasaikäinen ja Avohakkuu, ulkokehän kauluksesta 1m säteen suuntaisesti ulospäin ja sisäkehän kauluksesta 1m päähän myötöpäivän suuntaan.

Kasviruutuna käytettiin 1,4 x 1,4 m kokoista, neliönmuotoista kehikkoa joka oli jaettu langoilla sataan yhtä suureen osan. Ruudusta tunnistettiin sammaleet, sanikkaiset, ruoho- ja puuvartiset kasvit, myös ruudun sisälle jääneiden puuntainten peittävyys laskettiin. Sirkkataimia ei laskettu. Peittävyyden arvioinnin tarkkuutena käytettiin 0,1%, 0,2%, 0,5% ja sitä suuremmilla 1% -tarkkuutta. Arvioinnissa huomioitiin kasvillisuuden eri kerrokset joten yhden ruudun yhteenlasketuksi peittävyydeksi voitiin saada yli 100%.

2.4 Tilastolliset menetelmät

Maaperän hengityksen eroja eri koealojen välillä tarkasteltiin tilastollisesti R-studio (R Core Team 2014) -ohjelman avulla. Tutkimuksen kannalta mielenkiintoisimpia olivat erot saman ravinteisuusluokan koealojen välillä, eli Lap01 ja Avohakkuu sekä Lap13 ja Tasaikäinen. Koealojen kauluskeskiarvoja verrattiin toisiinsa varianssianalyysillä käyttämällä Tukeyn testiä (Tukey 1949) 5 % merkitsevyystasolla. Tukeyn testin vertailuarvo Q_v lasketaan kaavalla:

$$Q_v = \frac{Y_A - Y_B}{SE}$$

missä Y_A ja Y_B ovat vertailtavia keskiarvoja (esimerkiksi Lap13 ja Tasaikäinen) ja SE on keskivirhe. Q_v ä verrataan *studentized range* -jakauman avulla saatuun kriittiseen arvoon. Jos vertailuarvo on suurempi kuin kriittinen arvo, keskiarvot eroavat toisistaan. Kriittinen Q_K arvo muodostuu:

$$Q_K = Q_{\alpha(k, kn-k)} \sqrt{\frac{MS_{ERROR}}{n}}$$

missä $Q_{\alpha(k, kn-k)}$ on *studentized range* -jakauman fraktiili, α kuvaa merkitsevyystasoa, n on otosten koko, k on käsittelyjen lukumäärä ja MS_{ERROR} on virheiden neliöiden keskiarvo.

Eroa eri koealojen välillä maaperän lämpötilassa ja kosteudessa tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA), käyttämällä F-testiä 5 % merkitsevyystasolla. Tarkasteltu malli oli muotoa:

$$y_{k,i} = \mu + \alpha_k + \varepsilon_{k,i}$$

missä $y_{k,i}$ on kauluksen k ja viikon i havaintoarvo (hiilidioksidivuoto), α_k on kauluksen (mittauspisteen) vaikutus, μ on yleiskeskisarvo, $\varepsilon_{k,i}$ on virhetermi ja $i = 1, \dots, 14$, $k = 1, \dots, 14$ jatkuvan kasvatuksen aloilla ja $k = 1, \dots, 10$ tasaikäisillä aloilla.

Myös jatkuvan kasvatuksen koealojen hiilidioksidivuon sisäistä vaihtelua valo- ja varjopisteiden välillä tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä, käyttämällä F-testiä 5 % merkitsevyystasolla. Hiilidioksidivuota tarkasteltiin valo- ja varjopisteiden välillä seuraavasti:

$$y_{i,j} = \mu + \alpha_j + \varepsilon_{i,j}$$

missä $y_{i,j}$ on kauluksen i ja valo- tai varjo-ositteen j koko kesän havaintojen keskiarvo, α_j on menetelmän (valo tai varjo) vaikutus, μ on yleiskeskisarvo, ja $\varepsilon_{i,j}$ on virhetermi. Tässä tapauksessa $j = 1, \dots, 4$, koska tarkasteltiin kahden koealan valo- ja varjo-ositteita, ja $i = 1, \dots, 7$.

Kosteuden ja lämpötilan vaikutuksen tutkimiseksi hiilidioksidivuoarvoja tarkasteltiin graafisesti kosteuden ja lämpötilan funktiona (Excel, Microsoft 2010). Tarkastelun perusteella hiilidioksidivuolle sovitettiin koealoittain yhden muuttujan lineaariset mallit, jossa selittäjänä oli joko muuttuja tai sen muunnos:

$$y_i = a_T x_i + b_T + \varepsilon_i$$

$$y_i = a_K z_i + b_K + \varepsilon_i$$

missä y_i käsittää kaikkien viikkojen ja kaulusten mittaukset, x_i ja z_i ovat vastaavat lämpötilat ja kosteudet tai niiden muunnokset, a_T, b_T, a_K ja b_K ovat parametreja ja ε_i

on virhetermi. Parhaiten sopiva malli valittiin selityksasteen ja silmämääräisen tarkastelun perusteella.

Kosteuden ja lämpötilan vaikutus maaperän hengitykseen pyrittiin eliminoimaan ennustamalla hiilidioksidivuon suuruutta epälineaarilla sekamallilla. Maaperän lämpötilan ja kosteuden vaikutuksen poistaminen on tärkeää, jotta nähdään onko mahdollisten erojen takana muita vaikuttavia tekijöitä. R-studio ohjelmalla etsittiin mallia, jonka yleinen muoto on:

$$y_{ij} = f(\alpha_j, x_{ij}, z_{ij})$$

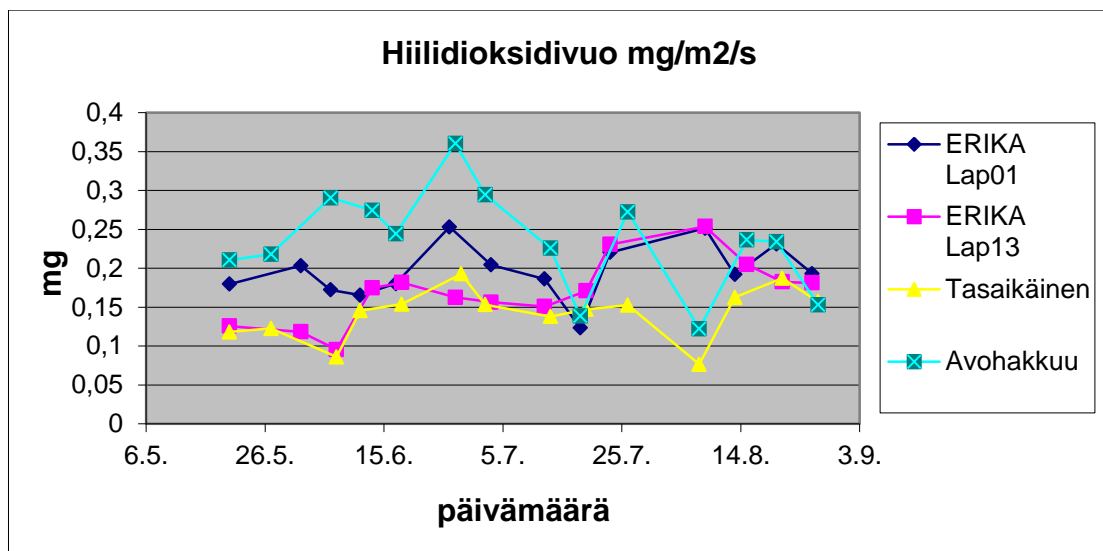
missä α_j sekamallin satunnaistermi, joka kuvaa kuinka paljon osite (koeala tai kaulus) eroaa keskiarvosta, ja x_{ij} ja z_{ij} ovat mittauksen i ja ositteen j lämpötila ja kosteus.

3. Tulokset

3.1.1 Maaperän hengitys

Mittaukset toteutettiin 20.5 – 27.8. välisenä aikana viikoittain (Kuva 3.), pois lukien viikko 31. Kesän aikana 48 mittauspisteeltä kertyi kaikkiaan 657 mittaustulosta joissa hiilidioksidivuon suuruus vaihteli välillä 0,0488 mg/m²/s – 0,4109 mg/m²/s. Ensimmäisen viikon tuloksista puuttuu 8 mittauspistettä, koealalta Lap01 pisteet 9, 17, 5 ja 13 ja koealalta Lap13 pisteet 22, 39, 35 ja 36, koska nämä pisteet lisättiin mittauksiin vasta toisella viikolla. Lisäksi tasaikäiseltä koealalta puuttuu 7 mittaustulosta viikolta 28. koska maastotallentimen akku loppui kesken.

Hiilidioksidivuon suuruus koko kesän keskiarvona oli korkein avohakkuualalla: 0,234 mg/m²/s, jatkuvan kasvatuksen koealoilla Lap01 ja Lap13 keskiarvot olivat: 0,197 ja 0,171 mg/m²/s ja pienin vuokeskiarvo mitattiin tasaikäisellä koealalla: 0,142 mg/m²/s. (Kuva 4.)



Kuva 4. Koealakohtaisen hiilidioksidivuon keskiarvon kehitys kesän 2013 aikana. ERIKA Lap01 ja Avohakkuun kasvupaikka tyyppi on lehto ja ERIKA Lap13 ja Tasaikäisen kasvupaikka on MT.

Saman kasvupaikan koealojen tilastollisessa vertailussa, käytettäessä 95 % luottamusväliä, kummankaan parin välille ei saatu tilastollisesti merkitsevää eroa, Lap01 ja Avohakkuun eron p-arvo oli noin 0,0965 ja Lap13 ja Tasaikäisen eron p-arvo oli noin 0,2652 (Taulukko 1.).

Mielenkiintoista on myös se, ettei Lap01 ja Lap13 välinen ero ollut tilastollisesti merkitsevä (p-arvo oli noin 0,3499), vaikka kyseessä oli samalla menetelmällä hoidetut lehto- ja mustikkatyyppin metsät. Ääripäitä edustavien Avohakkuun ja Tasaikäisen välillä oli odotetusti selvä merkitsevä ero hiilidioksidivuon suuruudessa, p-arvoksi tuli vain noin 0,00002 (Taulukko 1.).

Taulukko 1. Koealojen pareittainen vertailu varianssianalyysillä käyttäen Tukeyn testiä. Sarakkeessa diff on havaittujen keskiarvojen ero, lwr on intervallin alempi päätepiste, upr on intervallin ylempi päätepiste ja p adj on p-arvo joka on sovitettu usean vertailun jälkeen.

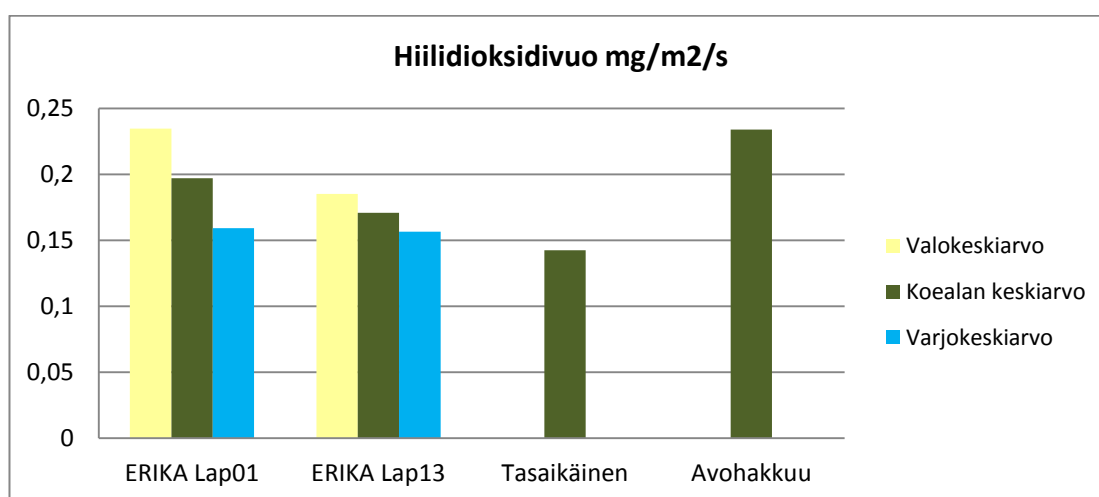
Group.1	diff	lwr	upr	p adj
lap01-avohakkuu	-0.03759191	-0.07981192	0.004628102	0.0965086
lap13-avohakkuu	-0.06174065	-0.10396066	-0.019520642	0.0017628
tasaikainen-avohakkuu	-0.09128775	-0.13689057	-0.045684925	0.0000178
lap13-lap01	-0.02414874	-0.06269016	0.014392675	0.3499161
tasaikainen-lap01	-0.05369584	-0.09591585	-0.011475831	0.0076860
tasaikainen-lap13	-0.02954710	-0.07176710	0.012672913	0.2562319

Taulukko 2. Maaperän respiraation kauluskeskiarvojen ANOVA -taulukko. Sarakkeessa Df on vapausaste, Sum sq on neliösumma, Mean Sq on neliösumma jaettuna vastaavalla vapausasteella, F value on F-arvo ja Pr(>F) on vastaavan F-arvon p-arvo.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Group.1	3	0.045938	0.0153127	10.498	2.486e-05
Residuaali	44	0.064177	0.0014586		

3.1.2 Valo ja varjopisteet

Jatkuvan kasvatuksen koealojen (Lap01 ja Lap13) valo- ja varjomittauspisteiden välillä oli selvä ero hiilidioksidivuon suuruudessa, valopisteiden keskiarvot ovat selvästi varjopisteitä suuremmat (kuva 5). 0,05 merkitsevyystasolla tilastollisesti merkitsevä ero löytyi vain Lap01:llä ($p=0,0026$, $n=7$). Sen sijaan Lap13:a eroa valo- ja varjopisteiden välillä ei voida pitää tilastollisesti merkitseväenä ($p=0,096$, $n=7$).



Kuva 5. Koealakohtaisen hiilidioksidivuon keskiarvot sekä jatkuvan kasvatuksen koealojen valo- ja varjomittauspisteiden keskiarvot. Koko vuoden hiilidioksidivuokeskiarvot olivat: Avohakkuu 0,234; Lap01 0,197; Lap13 0,171 ja Tasaikäinen 0,142 mg/m²/s. Valo ja varjopisteiden keskiarvot olivat Lap01:llä 0,235 ja 0,159 ja Lap13:a 0,185 ja 0,156 mg/m²/s.

Rehevän Lap01 valopisteiltä vapautui keskimäärin lähes yhtä paljon hiilidioksidia kuin avohakkuualalta (Kuva 5). Lap01:n pelkkien valopisteiden vuo oli keskimäärin 0,235 mg/m²/s ja avohakkuualan 0,234 mg/m²/s. Lap01 varjopisteiden hiilidioksidivuon keskiarvo oli vain 0,159 mg/m²/s joka oli samaa luokkaa kuin mustikka-tyypin Lap13 varjopisteiden vuokeskiarvo 0,156 mg/m²/s. Lap13 valopisteiltä mitatut hiilidioksidivuot olivat sen sijaan huomattavasti pienemmät kuin avohakkuualalla, vuon keskiarvo oli noin 0,185 mg/m²/s. Tasaikäiseltä koealalta vapautui selvästi vähemmän

hiilidioksidia, myös silloin kun sitä verrattiin jatkuvan kasvatuksen koealojen varjopisteisiin.

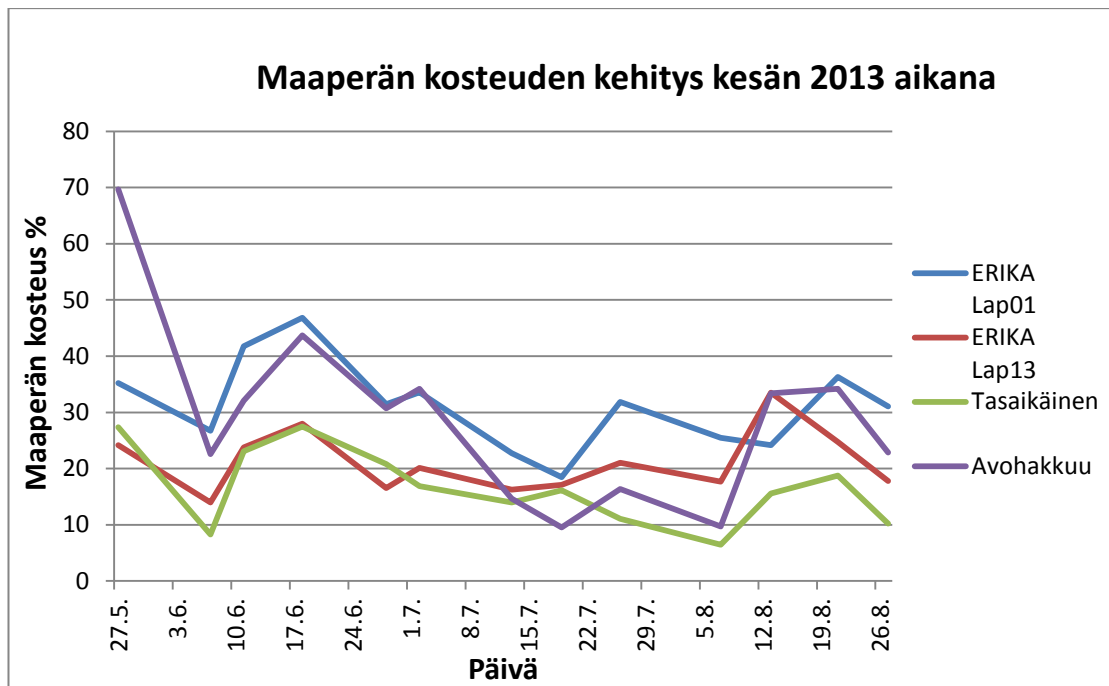
Taulukko 3. Koealojen ja ERIKA koealojen valo- ja varjopisteiden hiilidioksidivuon suuruudet koko kesän keskiarvoina ja vastaavat keskihajonnat ja keskivirheet.

Koeala	Keskiarvo mg/m ² /s	Keskihajonta	Keskivirhe
Lap01 Yhteensä	0,196872	0,034748	0,009287
Lap01 valo	0,234716	0,04266	0,011401
Lap01 varjo	0,159027	0,035102	0,009381
Lap13 Yhteensä	0,170754	0,042206	0,01128
Lap13 valo	0,185013	0,040676	0,010871
Lap13 varjo	0,156495	0,048143	0,012867
Tasaikäinen	0,142438	0,032901	0,008793
Avohakkuu	0,233997	0,065111	0,017402

3.2.1 Maaperän kosteus

Maaperän keskimääräinen kosteus oli suurempi jatkuvan kasvatuksen koealoilla kuin vastaavan ravinteisuusluokan tasaikäisillä koealoilla. Kosteuden kehityksessä on huomattavaa, että alkukesällä samaa ravinteisuusluokkaa olevien koealojen maaperän kosteudet ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta keskikesän jälkeen jatkuvan kasvatuksen koealojen kosteusprosentti on keskimäärin suurempi (Kuva 6.). Tämä voidaan ainakin Lap13 ja Tasaikäisen koealojen kohdalla selittää haihdunnan vähentymisellä, kun Lap13 aukkopaikoilla kasvavien yksivuotisten ruohojen kasvu hiipuu keskikesän jälkeen ja veden käyttö vähenee.

Lehtokoealoilla (Lap01 ja Avohakkuu) keskimääräinen maaperän kosteusprosentti oli suurempi kuin MT koealoilla (Lap13 ja Tasaikäinen), mikä selittyyne etupäässä erilaisella maalajilla: lehtokoealojen maalaji oli savi ja MT koealojen hiekka.



Kuva 6. Maaperän kosteus koealoilla kesällä 2013. Keskimääräinen kosteus: Lap01 = 31,21, Lap13 = 21,13, Tasaikäinen = 16,62 ja Avohakkun = 28,75.

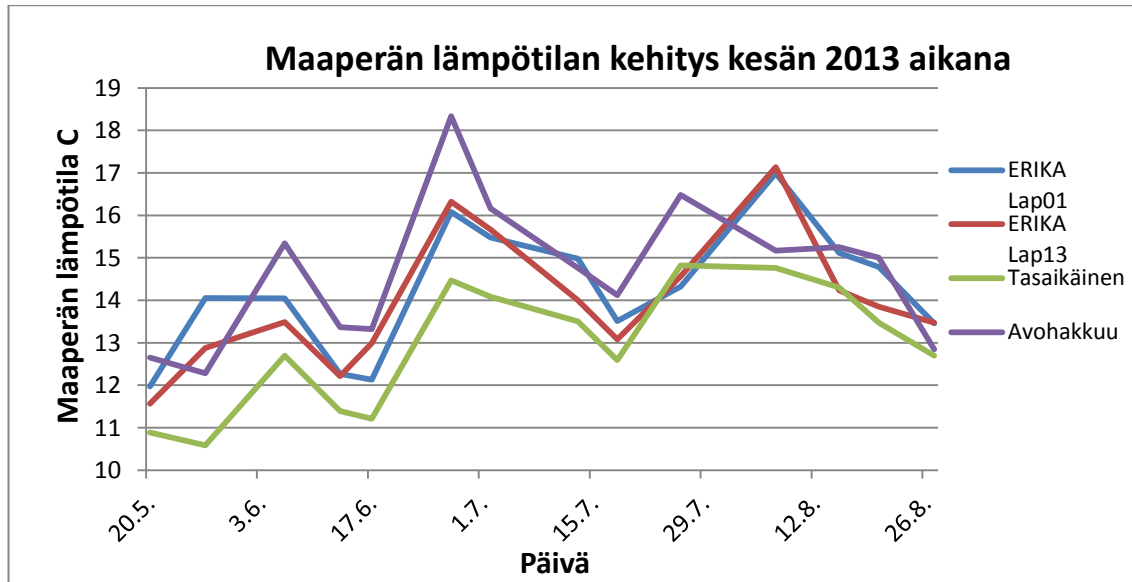
Hoitomenetelmän vaikutusta maaperän kosteuteen tarkasteltiin vertailemalla saman ravinteisuusluokan koealojen viikoittaisten kosteusprosenttien keskiarvoja ($n=14$). Saman kasvupaikan koealojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, sillä yksisuuntaisella varianssianalyysillä Lap01:n ja Avohakkuun välisen eron p -arvoksi saatiin noin 0,62 ja Lap13:a ja Tasaikäisen eron p -arvoksi noin 0,07.

Koska mittauspisteiden välillä näytti olevan selviä eroja, tarkasteltiin hoitomenetelmän vaikutusta maaperän kosteuteen käyttämällä myös koko kesän ajalta kertyneitä kauluskeskiarvoja (jatkuva kasvatus $n=14$, tasaikäisrakenteinen $n=10$). Yksisuuntaisella varianssianalyysillä Lap01:n ja Avohakkuun p -arvoksi saatiin noin 0,55 ja Lap13:a ja Tasaikäisen p -arvoksi noin 0,049, jota voidaan jo pitää tilastollisesti merkitsevänä erona. Vaikka Lap01:n ja Avohakkuun välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kummillakaan keskiarvoilla, on syytä muistaa että avohakkuukoealan maaperän kosteusprosentti vaihteli suuresti kesän aikana verrattuna Lap01:een (kuva 5.).

3.2.2 Maaperän lämpötila

Maaperän lämpötila vaihteli keskimäärin 10 ja 19 °C:een välillä. Jatkuvan kasvatuksen koealojen metsiköt olivat lämpötiloiltaan melko lähellä toisiaan, kun taas

avohakkuualalla maaperä oli keskimäärin lämpimin ja tasaikäisellä keskimäärin viilein. Maaperän lämpötila näyttäisi siis johtuvan ainakin osittain puuston peittävyyydestä. Lämpötilojen vaihtelussa ei ollut suuria eroja koealojen välillä ja kaikki lämpötilat kehittyivät saman trendin mukaisesti läpi kesän (Kuva 7).



Kuva 7. Maaperän lämpötila kesällä 2013. Keskimääräinen lämpötila: Lap01 = 14,23, Lap13 = 13,96, Avohakkuu = 14,65 ja Tasaikäinen = 12,96.

Hoitomenetelmän vaikutusta maaperän lämpötilaan tarkasteltiin vertailemalla saman ravinteisuusluokan koealojen viikoittaisia lämpötilakeskiarvoja ($n=14$). Yksisuuntaisella varianssianalyysillä tarkasteltuna saman kasvupaikan koealojen välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Lap01:n ja Avohakkuun välisen eron p-arvoksi saatiin noin 0,49. Lap13:a ja Tasaikäistä verrattaessa päästiin lähemmäksi merkitsevää eroa ja p-arvoksi saatiin noin 0,09.

Kuten maaperän kosteuden, myös lämpötilan riippuvuutta hoitomenetelmästä tarkasteltiin käyttämällä mittauspistekohtaisia kauluskeskiarvoja (jatkuva kasvatus $n=14$, tasaikäisrakenteinen $n=10$). Tällöin yksisuuntainen varianssianalyysi antoi Lap01:n ja Avohakkuun eron p-arvoksi noin 0,02 ja Lap13:n ja Tasaikäisen eron p-arvoksi tuli noin 0,0002. Nämä tulokset antavat viitteitä siitä, että metsämaan lämpötilat eroavat toisistaan jatkuvassa kasvatuksessa ja tasaikäisrakenteisessa metsänhoidossa.

3.2.3 Hiilidioksidivuon suhde maaperän kosteuteen ja lämpötilaan

Mittaustulosten perusteella näyttää siltä, että maaperän korkeampi lämpötila ja kosteusprosentti johtavat suurempaan hiilidioksidivuohon. Mittaustulokset eivät sijoittuneet siististi samoille viivoille, mutta koealojen pistejoukkojen sisällä oli selvästi havaittavissa tiettyä johdonmukaisuutta. Vastaus kolmanteen tutkimuskysymykseen on siis: kyllä, hiilidioksidivuon suuruutta voidaan selittää maaperän kosteudella ja lämpötilalla.

Hiilidioksidivuon ja maaperän lämpötilan suhde näytti olevan lineaarinen ja hiilidioksidivuo y ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$) saadaan laskettua lämpötilan x ($^{\circ}\text{C}$) avulla. Funktiot olivat Lap01:lle $y = 0,0214x - 0,1088$, Lap13:a $y = 0,0135x - 0,0174$, Tasaikäiselle $y = 0,0054x + 0,0724$ ja Avohakkuulle $y = 0,0199x - 0,0575$. Kaavojen selitysasteet olivat järjestyksessä: $R^2 = 0,227$, $R^2 = 0,159$, $R^2 = 0,0323$ ja $R^2 = 0,2283$. Lehtokoealoilla hiilidioksidivuo siis kasvoi suunilleen yhtä nopeasti lämpötilan kasvaessa. Lap13:a kasvu oli hitaampaa ja Tasaikäisellä kaikista hitainta, tosin on huomattava että Tasaikäisen tuloksista johdetun kaavan selitysaste on hyvin pieni. Tasaikäisiltä koealalta mitattiin läpi kesän myös alempia maaperän lämpötiloja, kuin muilta koealoilta.

Taulukko 4. Hiilidioksidivuon, maaperän lämpötilan ja kosteuden välisen regressioanalyysin havaintojen lukumäärä ja lämpötilan ja kosteuden p-arvot.

	Lap01	Lap13	Tasaikäinen	Avohakkuu
Havainnot	182	182	123	130
Lämpötila P-arvo	1,68E-19	1,7E-09	0,000703	4,21E-13
Kosteus P-arvo	1,32E-18	3,95E-09	3,49E-05	7,12E-08

Hiilidioksidivuon ja maaperän kosteusprosentin suhde oli enemmän logaritminen ja hiilidioksidivuo y ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$) voidaan arvioida lämpötilan x ($^{\circ}\text{C}$) avulla. Funktiot olivat Lap01:lle $y = 0,0708\ln(x) - 0,0375$, Lap13:a $y = 0,0546\ln(x) + 0,0123$, Tasaikäiselle $y = 0,0334\ln(x) + 0,0544$ ja Avohakkuulle $y = 0,0501\ln(x) + 0,0753$. Kaavojen selitysasteet olivat järjestyksessä: $R^2 = 0,2413$, $R^2 = 0,1618$, $R^2 = 0,1312$, $R^2 = 0,1733$.

Hiilidioksidivuon ennustamista varten rakennetun epälineaarisen sekamallin muodoksi tuli:

$$y = (a + \alpha) \times Q_{10}^{0,1 \times T} \times (k/100)^b$$

missä y on hiilidioksidivuo ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$), α kuvaa kuinka paljon koeala tai kaulus eroaa keskiarvosta ja a on keskimääräinen respiraationopeus, T on lämpötila, k on kosteusprosentti. Parametrit saivat seuraavat arvot: a on 0,0588, b on 0,2796, Q_{10} on 3.0295.

Samojen ravinteisuusluokkien välille ei saatu tilastollisesti merkitsevää eroa (α ei erronnut merkitsevästi 0:sta, taulukko 5), kun lämpötilan ja kosteuden vaihtelu oli poistettu tuloksista. Tämä oli odotettavissa kun otetaan huomioon, että suurin osa lämpötilan ja kosteuden vaihtelusta näyttää johtuvan etupäässä hoitomenetelmästä (erikäsirakenteinen tai tasaikäsirakenteinen).

Taulukko 5. α :n ja nollan välinen ero yksisuuntaisella varianssianalyysillä käyttäen F-testiä 5 % merkitsevyystasolla. Ero ei ole tilastollisesti merkitsevä millään koealalla.

	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-kriittinen</i>
Lap01	0,277679	0,602694	4,225201
Avohakkuu	3,071157	0,098831	4,493998
Lap13	0,29341	0,592655	4,225201
Tasaikäinen	0,032558	0,858825	4,413873

3.3.1 Maanäytteet

Maaperänäytteitä kerättiin jokaisen kauluksen vierestä, siis yhteensä 48 kappaletta. 14 molemmilta ERIKA-koealoilta (seitsemän valo- ja seitsemän varjopisteiltä), ja 10 kummaltakin tasaikäsirakenteiselta koealoilta. Keskiarvoja tarkasteltaessa maaperänäytteistä määrällisesti eniten hiiltä löytyi Lap01:n varjopisteiltä (6,40g/näyte), avohakkuualalla keskiarvo oli 6,31g/näyte ja tämä on myös suurin koealakohtainen keskiarvo, mikäli Lap01:ä ei eritellä erikseen valo- ja varjopisteisiin. Lap13:n valo- ja varjopisteillä ero ei ole kovin suuri ja koealakeskiarvo on 5,35g/näyte, selvästi pienin hiilimäärä löytyy tasaikäiseltä koealalta: 4,65g/näyte (Taulukko 5).

Näytteiden sisältämän hiilen määrä on taulukossa 5 muutettu tilavuus ja pinta-alakohtaiseksi. Koska maaperänäytteiden analysoinnissa ei otettu huomioon humus- ja kivennäismaaosien osuutta näytteen pituudesta, täytyy maaperän hiilen tilavuuskohtaisessa arviossa käyttää koko näytettä. Pinta-alakohtainen hiilen määrä käsittää vain ensimmäiset 10 cm maan pinnasta (Taulukko 5).

Taulukko 6. Maaperänäytteiden hiilimäärä muutettuna tilavuus ja pinta-alakohtaiseksi. Näyte = 100 mm pituinen kairanäyte maan pinnasta, näytteen halkaisija on 45 mm.

	Lap01 valo	Lap01 varjo	Lap01 KA	Lap13 valo	Lap13 varjo	Lap13 KA	Tasaikäinen	Avohakkuu
Näyte g	5,57554372	6,3992528	5,987398	5,440286	5,2533045	5,34679529	4,6535166	6,3069152
g/l	35,05680367	40,23595936	37,646382	34,206358	33,03069121	33,61852443	29,25946327	39,65537699
g/m2	3505,680367	4023,595936	3764,6382	3420,6358	3303,069121	3361,852443	2925,946327	3965,537699

Seulotutuista maaperänäytteistä suurimmat hiilen keskimääräiset pitoisuudet (prosenttia näytteen painosta) humuskerroksessa löytyivät avohakkuualalta 37,26%, tasaikäisen metsikön pitoisuus oli hieman Lap13:a korkeampi 30,83% ja 27,81% ja pienin hiilipitoisuus löytyi Lap01:n humuksesta: 23,07%. Järjestys koealojen humuskerrosten hiilipitoisuuksien välillä ei muutu kun tarkastelussa otetaan huomioon seulonassa poistunut aines, hiiliprosentit ja erot koealojen välillä vain pienenevät (Taulukko 6.).

Taulukko 7. Maaperän hiilimäärien ja –pitoisuuksien keskiarvot koealoilla humuskerroksessa ja mineraalimaan pinnassa. Jatkuvan kasvatuksen koealoilla tulokset on eritelty myös valo- ja varjopiseisiin. Arvot ovat g / näyte, tai prosenttia näytteen painosta.

Hiilen Määrä maanäytteessä g								
	Lap01 valo	Lap01 varjo	Lap01 KA	Lap13 valo	Lap13 varjo	Lap13 KA	Tasaikäinen	Avohakkuu
Humus (g)	1,10962728	2,3754491	1,7425382	2,432678	2,1493778	2,2910279	2,4713962	2,3941494
Mineraali (g)	4,46591644	4,0238037	4,2448601	3,0076081	3,1039267	3,0557674	2,1821204	3,9127658
Koko näyte (g)	5,575544	6,399253	5,987398	5,440286	5,253304	5,346795	4,653517	6,306915
Hiilen osuus maanäytteessä %								
	Lap01 valo	Lap01 varjo	Lap01 KA	Lap13 valo	Lap13 varjo	Lap13 KA	Tasaikäinen	Avohakkuu
Humus (%)	8,57067973	15,666565	12,118623	16,733601	17,275583	17,004592	17,551134	18,451978
Mineraali (%)	3,6236302	3,7984747	3,7110525	2,8997708	3,1003231	3,000047	4,1755705	3,9948368
Hiilen osuus seulotussa (<2mm) maanäytteessä %								
	Lap01 valo	Lap01 varjo	Lap01 KA	Lap13 valo	Lap13 varjo	Lap13 KA	Tasaikäinen	Avohakkuu
Humus (%)	20,7655676	25,366424	23,065996	27,926909	27,688024	27,807467	30,827098	37,257532
Mineraali (%)	4,1240481	4,1219708	4,1230095	5,068541	4,3992148	4,7338779	6,1116596	4,0038331

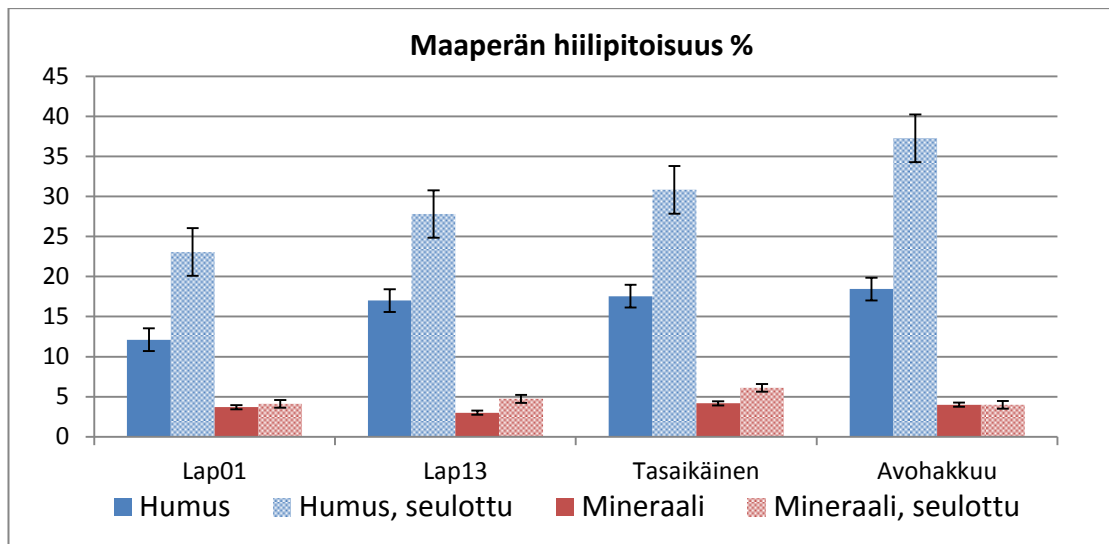
Ero avohakkuualan ja Lap01 välillä vaikuttaa melko suurelta, kun otetaan huomioon että molemmat ovat samaa kasvupaikkatyyppiä. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä tarkasteltuna ero Lap01:n ja avohakkuualan välillä on tilastollisesti merkitsevä, 0,05

tarkkuudella p-arvoksi tulee 0,004724 (seulomaton näyte). Eroa voidaan selittää sillä, että avohakkuun seurauksena humuskerrokseen on päätyntä paljon kuoluutta kasviainesta joka hajotessaan nostaa maaperän hiilen pitoisuuden korkealle. MT-koealojen eli Lap13:a ja Tasaikäisen koealan välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa humuskerroksen hiilen määrässä.

Mineraalikerroksen hiilipitoisuutta tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että mineraalimaan kairanäyte ei ole koko horisontin mittainen, vaan se sisältää humuskerroksen kanssa vain ensimmäiset 10 cm pinnasta. Lap01:n ja avohakkuualueen välillä ei ole juurikaan eroa seulotun mineraalimaan hiilen määrässä (4,12% ja 4,00%). Korkein mineraalimaan hiilipitoisuus löytyi tasaikäiseltä koealalta (6,11%), myös Lap13:a hiiltä oli enemmän kuin kummallakaan lehtokoealoista (4,73%).

Ero MT-koealojen välillä saattaa johtua hoitomuodosta ja erillisestä historiasta, Lap13:a löytyi muutamasta kairanäytteestä palon jälkiä. Eroista huolimatta mineraalikerroksen hiilen määrästä ei saatu tilastollisesti merkitsevää eroa saman kasvupaikan koealojen välillä.

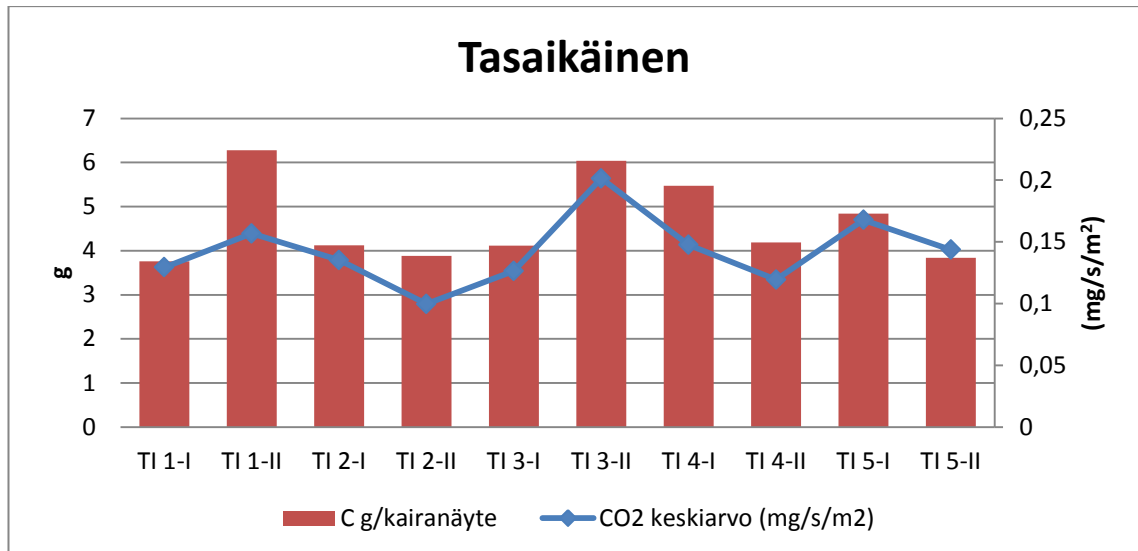
Toisin kuin humuskerroksen, mineraalimaan hiilipitoisuuden suhteet näyttävät vaihtuvan kun tarkastelussa otetaan huomioon seulonnan yhteydessä maanäytteestä poistunut aines. Molempien MT koealojen hiilipitoisuus on selvästi pienempi, 4,17% Tasaikäisellä ja 3,00% Lap13:a, tämä johtunee maalajin karkeudesta ja kivisyydestä. Lehtokohteiden kohdalla muutos on savimaasta johtuen pieni, koko mineraalimaanäytteen hiilipitoisuuden keskiarvo Lap01:llä on 3,71% ja Avohakkuulla 4,00%.



Kuva 8. Maaperän hiilipitoisuus (%) 0-100mm pinnasta humus- ja mineraalikerroksesta eri koealojen välillä. Tumma väri: koko näyte, vaalea väri: seulottu näyte.

3.3.2 Hiilidioksidivuon suhde maanäytteisiin

Maaperän sisältämän hiilen vaikutusta maasta vapautuvan hiilidioksidin määrään tutkittiin näiden tekijöiden korrelaationa. Selkeä riippuvuus olisi mielenkiintoinen tulos, koska se kertoisi osaltaan hiilen kiertonopeudesta. Maanäytteen sisältämän hiilen suhde hiilidioksidivuohon ei kuitenkaan näyttänyt olevan merkittävä jatkuvan kasvatuksen koealoilla, korrelaatiokerroin oli Lap01:n mittapisteiden keskimääräisen hiilidioksidivuon ja maaperän hiilen (g/näyte) välillä vain noin 0,08 ja Lap13:a vastaavasti 0,13. Myös avohakkuualalla korrelaatiokerroin jäi melko pieneksi (0,14), mutta Tasaikäisessä metsikössä se oli noin 0,75, jolloin voidaan jo puhua melko vahvasta riippuvuudesta (kuva 9.)



Kuva 9. Tasaikäisellä koealalla maaperästä vapautuva hiilidioksidivuoto mittapisteen keskiarvona ja vastaavan pisteen kairanäytteen sisältämän hiilen määrä. Korrelaatiokerroin on noin 0,75

Pienet korrelaatiokertoimet jatkuvan kasvatuksen koealoilla antavat viitteitä siitä, että ehkä riippuvuuden löytämiseksi tilannetta täytyy tarkastella erikseen humuskerroksen ja mineraalimaan välillä. Lisäksi huomioon täytyy ottaa valo- ja varjopisteiden välillä vaikuttava ero hiilidioksidivuon suuruudessa.

Kun maaperänäytteen ja hiilidioksidivuon suuruuden korrelaatiota tutkitaan erikseen humus- ja mineraalikerroksen suhteen (C g/näyte), saadaan Lap01:llä mineraalikerroksen osalta korrelaatiokertoimeksi jo 0,47, mutta humuskerroksen sisältämän hiilen määrän ja näytettä vastaavan hiilidioksidivuon korrelaatiokerroin on noin -0,47. Tulokset ovat samansuuntaisia avohakkuualueen kanssa jossa mineraalikerroksen ja hiilidioksidivuon korrelaatiokerroin oli 0,49 ja humuskerroksen vastaavasti -0,21.

Lap13:a hiilidioksidivuon ja maaperän hiilen korrelaatiokerroin oli humuskerroksen osalta 0,35 ja mineraalikerroksessa vain -0,05. Tasaikäisen metsikön hiilidioksidivuon ja humus- sekä mineraalikerrokseksi erotellun maaperänäytteen korrelaatiokertoimet olivat pienempiä kuin kokonaisen maaperänäytteen vastaava, 0,50 humuskerrokselle ja 0,51 mineraalikerrokselle. Tasaikäisellä koealalla on siis vahvin korrelaatio maaperän hiilen ja maaperästä vapautuvan hiilidioksidin välillä, myös eri kerroksien kautta tarkasteltaessa.

Kun otetaan huomioon valo ja varjopisteet, saadaan Lap01:n valopisteiden hiilidioksidivuon kauluskeskiarvon ja vastaavan maaperänäytteen hiilimäärän korrelaatiokertoimeksi 0,61 ja vastaavasti varjopisteiltä 0,57. Molemmissa tapauksissa maaperänäytteen jakaminen humus- ja mineraalikerrokseen johtaa huomompiin korrelaatiokertoimiin, tämä viittaa siihen, että maaperän vaikutusta hiilidioksidivuohon pitää tarkastella maanäytteen koko syvyyden osalta.

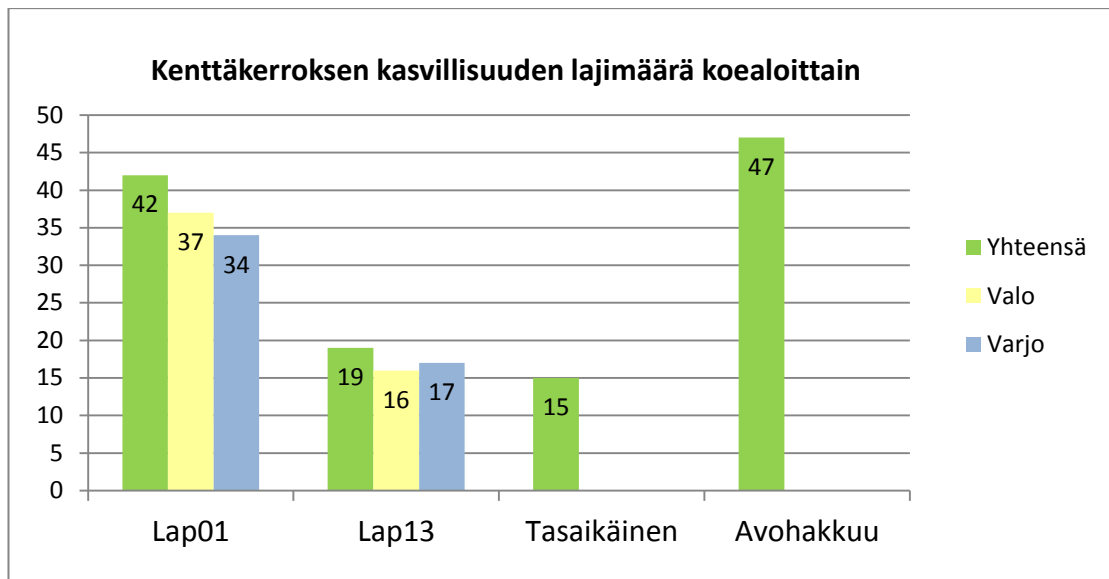
Lap13:a kauluskeskiarvojen jakaminen valo ja varjopisteisiin ei anna yhtä korkeita korrelaatiokertoimia kun Lap01:llä. Lap13:a valopisteiden ja maaperän hiilimäärän korrelaatio on vain 0,23 ja varjopisteillä -0,15. Mielenkiintoista on, että kun Lap13:a varjopisteiden suhdetta verrataan erikseen maaperänäytteen humus ja mineraalikerrokseen saadaan korrelaatiokertoimeksi humuksen osalta 0,69 ja mineraalikerrokselta peräti -0,93, jolloin voidaan puhua jo todella suuresta negatiivisesta korrelaatiosta.

3.3.3 Maaperänäytteiden respiraatiomittaus

Kairanäytteistä vapautuvan hiilidioksidin määrän keskiarvo laboratorio-oloissa oli suurin Avohakkuukoealalla, noin 0,529 mg/m²/s ja pienin Tasaikäiskoealalla, noin 0,399 mg/m²/s. Jatkuvan kasvatuksen koealojen tulokset olivat keskenään lähes yhtä suuria, Lap01:n ja Lap13:a näytteistä vapautuvan hiilidioksidin määrän keskiarvo oli kummallakin noin 0,433 mg/m²/s. Tallennusvirheen vuoksi menetettiin kahdeksan näytteen tiedot, kuusi näytettä Lap13:a ja kaksi Tasaikäiseltä.

3.4 Kasvillisuus

Koealoilla tehdyn kenttäkerroksen kasvillisuuskartoituksen mukaan suurimmat lajimäärät löytyivät lehtokoealoilta, 47 lajia avohakkuualalla ja 43 Lap01:llä. MT aloilla lajimäärät olivat huomattavasti vaatimattomammat, 19 lajia Lap13:a ja 15 tasaikäisellä koealalla (Kuva 10.).



Kuva 10. Koealojen kenttäkerroksen kasvien lajimäärät (vihreä palkki) koealakohtaisesti. Jatkuvan kasvatuksen aloilta myös valo- ja varjopisteiden lajimäärät (keltainen ja sininen palkki).

Metsänhoidon kannalta on huomionarvoista mainita että Lap01:n valopisteiden kasvuruuduista kuusta (*Picea abies*) tai koivua (*Betula pendula*) löytyi kumpaakin vain yhdestä ruudusta. Myös Lap13:a kuusta ja koivua löytyi kumpaakin ainoastaan yhdeltä kasvuruudulta, molemmat varjopisteiden puolelta. Sen sijaan esimerkiksi haavan (*Populus tremula*) taimia löytyi Lap01:n ruuduilta yhteensä kahdeksalta, kolme valo- ja 5 varjopisteiltä. Lap13 kenttäkerroksen yleisin puulaji oli pihlaja (*Sorbus aucuparia*).

4. Tulosten tarkastelu

Miten siis jatkuva kasvatus vaikuttaa maasta vapautuvaan hiilidioksidiin määrään ja maaperän hiilen määrään? Ensiksi täytyy huomioda, että tässä tutkimuksessa maaperän hiilidioksidivuota mitattiin vain kesällä, ja mittaukset suoritettiin aamu-, keski- tai iltapäivällä, joten tuloksia ei pitäisi rinnastaa vuorokautiseen hiilidioksidivuohon, eikä näin ollen tehdä yleistäviä arvioita esim. vuotuisista keskiarvoista. Tulosten pitäisi kuitenkin antaa käsitys hiilidioksidivuon suuruusluokasta ja siitä kuinka suuresti eri hoitomenetelmät ja eri kohteet poikkeavat toisistaan.

4.1 Maaperän hengitys jatkuvan kasvatuksen ja tasaikäisrakenteisilla koealoilla

Kuten edellä todettiin, jatkuvan kasvatuksen koealojen ja vastaavien ravinteisuusluokkien tasaikäisrakenteisten koealojen välillä ei ollut tilastollisesti

merkitsevää eroa koealojen keskimääräisissä hiilidioksidivuon suuruudessa. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastaus on siis kielteinen. Tämä voidaan tulkita siten, ettei jatkuvalla kasvatuksella välttyä hakkuista johtuvista suuremmista maaperän hiilidioksidipäästöiltä.

Lehtokoealojen, eli Avohakkuun ja Lap01:n ero 95 % luottamusvälillä oli hyvin lähellä tilastollista merkitsevyyttä ($p=0,0965$). Kun otetaan huomioon se, että Lap01 valo- ja varjopisteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero hiilidioksidivuon suuruudessa, eli jatkuvan kasvatuksen peitteisiltä paikoilta vapautuu huomattavasti vähemmän hiilidioksidia kuin aukkopakoilta, voidaan olettaa että, suuremmalla varjopaikkojen osuudella ero voidaan saada merkitseväksi. Eli hakkuiden laajuudella pystytään vaikuttamaan jatkuvan kasvatuksen metsän hiilidioksidipäästöihin.

On myös muistettava että tutkimusasetelmaa varten jatkuvan kasvatuksen koealoilta oli valittu yhtä monta valo- ja varjopistettä hiilidioksidivuon mittauspisteiksi, mutta todellisuudessa koealalla olevat peitteiset ja aukkopaidat eivät ole tasaisesti jakaantuneet. Kesällä 2013 tehtyjen mittausten mukaan Lap01:llä valopisteiden osuus oli 41 % ja varjopisteiden 59 %, Lap13:a valopisteiden osuus oli vain 26 % ja varjopisteiden osuus 74 % (Saarinen julkaisematon data). Jos valo- ja varjopisteiden todelliset osuudet otetaan huomioon ja hiilidioksidivuot painotetaan niillä, Lap01: vuon keskiarvo laskee $0,190 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ ja Lap13:a $0,164 \text{ mg/m}^2/\text{s}$, kumpikin arvo on noin $0,007 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ alkuperäistä keskiarvoa pienempi

MT-koealojen Lap13:a ja Tasaikäisen vertailussa jäätin melko kauas tilastollisesti merkitsevästä erosta, tämä voidaan nähdä rohkaisevana tietona, koska se kertoo siitä, että jatkuvan kasvatuksen metsä on hakkuiden jälkeen maaperän hengityksen osalta yhtä pihi, kuin tasaikäiset varttuneet kasvatusmetsät, jotka ovat ekosysteemitasolla hiilinieluja (Kolari ym. 2004).

4.2 Valo- ja varjopisteet

Kuten aikaisemmin todettiin, maaperän hiilidioksidivuo koko kesän keskiarvona mitattuna oli suurin avohakkuualalla. Tämä oli odotettavissa kun otetaan huomioon avohakkualojen erityispiirteet, (korkea lämpötila ja paljon kuollutta orgaanista ainetta)

verrattuna muissa kasvatusvaiheissa oleviin metsiin, sekä aikaisempien tutkimustulosten perusteella (Kolari ym. 2004). Mielenkiintoista on se, että vaikka Lap01 oli pysynyt poimintahakkuiden jälkeen vielä pääpiirteiltään ”peitteisenä”, eli metsikköön syntyneet aukot eivät olleet kovin suuria, niin näissä aukkopaikoissa (valopisteet) hiilidioksidivuon oli lähes samankokoinen kuin avohakkuualalla.

Tämä antaa viitteitä siitä, että jatkuvalla kasvatuksella ei voida välttää maaperästä tulevaa hiilidioksidivuopiikkiä hakkuiden jälkeen. Avohakkuusta poiketen tämä piikki ei kuitenkaan siis koske koko kuviota, vaan pelkästään aukkopaikkoja. Peitteisinä pysyvät paikat (varjopisteet) muistuttavat tasaikäistä metsikköä hiilidioksidivuon puolesta: Lap13:a pelkkien varjopisteiden vuo oli keskimäärin $0,156 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ ja tasaikäisen $0,142 \text{ mg/m}^2/\text{s}$. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä tarkasteltaessa ero Lap13:a varjopisteiden ja tasaikäisen metsikön välillä ei ole tilastollisesti merkitsevä, 0,05 tarkkuutta käytettäessä p-arvoksi tulee noin 0,375.

Jatkuvan kasvatuksen koealojen (Lap01 ja Lap13) valo- ja varjopisteiden hiilidioksidivuon suuruudessa on siis suuri ero ja vastaus toiseen tutkimuskysymykseen on: kyllä, varsinkin lehtokoealalla. Valopisteet muistuttavat siis vastaavan ravinteisuusluokan avohakkuuta ja varjopisteet puolestaan tasaikäistä metsikköä. Tästä syystä voidaan epäillä, että jatkuvan kasvatuksen alaisen metsikön maaperän hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa oikean kokoisilla poimintahakkuilla.

4.3 Kenttäkerroksen kasvillisuus

Avohakkuualan suurempi lajimäärä verrattuna Lap01 johtune siitä, että sieltä löytyy vielä lehtometsän kenttäkerroksen lajisto ja hakkuun seurauksena ilmaantunutta avoimen paikan lajistoa, näitä samoja lajeja löytyy tosin myös Lap01:n valopaikoilta. Mikäli selvästi metsäiset lajit häviävät avohakkuualalta seuraavien vuosien aikana Lap01 menee todennäköisesti ohi lajimäärässä, koska siellä on poimintahakkuiden seurauksena oletettavasti aina riittävän suotuisat olot sekä valoa että varjoa vaativille kasveille.

Kasvillisuuskartoituksesta löytyneiden kuusen taimien vähäisyys antaisi viitteitä siitä, että poimintahakkuiden jälkeen uuden puusukupolven luontainen uudistuminen ei ole

varmaa jatkuvan kasvatuksen metsikössä, tai että uuden sukupolven taimet ovat väärää lajia. Varsinkin lehtokoealalla (Lap01) hakkuista syntyneet aukkopaidat olivat ruohottuneet hyvin runsaasti, joten uusien taimien syntyminen lähivuosina näyttää epätodennäköiseltä.



Kuva 11. Lap 01 avoimien paikkojen (valopisteet) kenttäkerroksen kasvillisuutta hallitsee runsas lehtolajisto, kuusentaimia löytyi ainoastaan yhden mittauspisteen koeruudusta (vasen kuva). Lap 13 aukkopaidat eivät olleet pahasti ruohottuneet (oikea kuva), mutta silti kuusentaimia löytyi myös vain yhdestä koeruudusta.

Kenttäkerroksen kasvillisuuden koostumus jatkuvan kasvatuksen koealoilla on huomionarvoinen seikka, koska pintakasvillisuudesta syntyvä karike vaikuttaa osaltansa metsämaassa vallitseviin hajotusprosesseihin ja sitä kautta edelleen koko metsäekosysteemin hiilen kiertoon. Kasvien tuottamassa karikkeessa on suuria aroja eri lajien välillä (Wardle 2002). Monipuolisesta kasvilajistosta seuraa rakenteellisia muutoksia karikekerrokseen, vaikutuksia veden pidätyskykyyn ja muutoksia lämpötilaan. Tällaiset muutokset vaikuttavat karikekerroksen pienilmastoon ja siellä elävien pieneliöiden elinympäristöön (Hättenschwiler 2005).

Kasvillisuuskartoituksen perusteella vastaus viidenteen tutkimuskysymykseen näyttää siis olevan: kyllä. Jatkuva kasvatus tuo metsään avoimen paikan lajistoa ja muuttaa näin pintakasvillisuuden koostumuksesta, niin tekee tietysti myös avohakkuu, mutta jatkuvan kasvatuksen metsikössä muuttunut pintalajisto on varmasti jossain määrin edustettuna aina, kun se tasaikäisrakenteisessa on paikalla vain kerran kiertoajan aikana.

4.4 Kosteus ja lämpötila

Kuten aiemmin todettiin, maaperän lämpötilassa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa Lap01:n ja Avohakkuun välillä, eikä Lap13:a ja Tasaikäisen välillä kun käytettiin viikoittaisia koealakeskiarvoja, mutta kauluskeskiarvoilla merkitsevä ero löytyi kummastakin vertailuparista. Tässäkin tapauksessa on syytä muistaa, että vertailussa käytetyt Lap01:n ja Lap13:a lämpötilan keskiarvot muodostuvat kumpikin seitsemästä valo- ja seitsemästä varjopisteestä, vaikka todellisuudessa valopisteiden osuus oli molemmilla koealoilla pienempi kuin varjopisteiden.

Se että edes Avohakkuu ei eroaisi tilastollisesti Lap01:stä vaikuttaa erikoiselta, kun otetaan huomioon miten paljon metsikön yleisilme muuttuu hakkuun jälkeen. On mahdollista, että rehevälle kohteelle syntynyt runsas kenttäkerroksen kasvillisuus on tarjonnut riittävästi suojaa maanpinnalle ja näin pienentänyt maaperän lämpötilan nousua ja tasannut kosteuden vaihtelua. Toisaalta voidaan myös ajatella että Lap01:lle syntyneet aukkoapaikat ovat olosuhteiltaan niin lähellä avohakkuuta, että ne ovat tasanneet koealojen välisiä eroja.

Kun otetaan huomioon erot yksittäisten mittauspisteiden välillä (vaihteleva kivisyys ja pintakasvillisuus, puiden ja kantojen läheisyys), näyttää selvältä, että tilastollinen vertailu tulee tehdä nimenomaan kauluskeskiarvoilla, eikä koealakohtaisilla viikkokeskiarvoilla. Tämän perusteella voidaan sanoa, että hoitomenetelmä todella vaikuttaa maaperän lämpötilaan, kun vertaillaan keskenään saman ravinteisuusluokan tasa- ja eri-ikäiskoealoja.

Myös maaperän kosteutta tarkasteltaessa on järkevää käyttää kauluskeskiarvoja, koska mittauspisteiden väliset erot korostuvat maaperän kosteusprosentissa vielä selvemmin kuin maaperän lämpötilassa. Tämä tarkoittaa siis sitä, että Lap01:n ja Avohakkuun välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta Lap13 ja tasaikäisen välillä oli. Se, että ero löytyi MT-koealoilta, muttei lehtokoealoilta kertoo siitä, että maaperä vaikuttaa kosteuteen enemmän kuin hoitomenetelmä.

Kuten aikaisemmin todettiin Lap01:llä ja Avohakkuulla maalaji oli savi ja ne olivat keskimäärin kosteampia kuin Lap13 ja Tasaikäinen, jolla maalaji oli hiekka. Tämän

perusteella voidaan päätellä, että savimaalla hoitomenetelmä ei vaikuta maaperän kosteuteen, ilmeisesti koska savimaa pidättää kosteuden hyvin. Hiekkamaalla hoitomenetelmän vaikutukset korostuvat, jolloin ero tasa- ja eri-ikäisrakenteisen metsän maaperän kosteudessa tulee esiin.

4.5 Maanäytteet

Maaperänäytteiden respiraatiomittausten tulokset ovat ongelmallisia, koska ne ovat keskimäärin suurempia, kuin maastossa olevien vastaavien mittauspisteiden tulokset. Oletuksena oli, että kun kairanäytteiden sisältämät kasvinosat olivat kuolleet, jäljelle jäisi vain hajotustoiminnasta johtuva heterotrofinen hengitys, jonka avulla voitaisiin arvioida maastomittauksien hiilidioksidivuon tuloksista kasvien elintoiminnoista johtuva autotrofinen hengitys.

Nyt jos oletettaisiin että heterotrofinen hengitys on yhtä suuri laboratoriossa ja metsässä, niin autotrofisen hengityksen arvo maastossa olisi negatiivinen, mikä ei ole todennäköistä, joten kairanäytteitä tai niiden hiilidioksidivoita ei voida pitää suoraan vertailukelpoisina maastomittausten kanssa.

Maaperänäytteiden sisältämän hiilen suhteen on syytä muista se, että näytteiden valmistelussa tapahtuneen seulonnan yhteydessä niistä poistettiin kaikki suuret juuren- ja oksankappaleet, eli saadut tulokset kertovat vain ”puhtaan” maa-aineksen sisältämän hiilen määrän.

Todellisuudessa, kun tarkastellaan koko metsämaan sisältämää hiilivarastoa, täytyy ottaa huomioon myös elävät ja kuolleet juuret sekä kaikki muu pieni- ja suurikokoinen kuollut eloperäinen aines. Tämän lisäksi, kun vain Tasaikäisen koealan maaperän hengityksen ja maanäytteen sisältämään hiileen välillä oli vahva korrelaatio, voidaan todeta että vastaus neljänteen tutkimuskysymykseen on kielteinen.

Kuten aiemmin todettiin, humuskerroksen sisältämän hiilen määrä oli lehtokoealoista suurempi avohakkuualalla ja ero Lap01:n oli tilastollisesti merkitsevä. Kuitenkin, aikaisempien tutkimusten mukaan orgaanisen kerroksen sisältämän hiilen määrässä ei

ole tilastollisesti merkitsevää eroa tasaikäisen, poimintahakkuun ja luonnontilaisen kaltaisen metsän välillä (Mund 2006).

Tässä tutkimuksessa saatua tasaikäisen metsän (avohakkuuala) suurempia arvoja voidaan selittää avohakkuuta seuranneella väliaikaisella karikepiikillä. Voidaan myös olettaa että koska Avohakkuun ja Lap01:n kasvupaikkatyypin on lehto, Lap01 humuskerroksessa on riittävän korkea hajotusnopeus, ettei koealalla tehty poimintahakkuu näy humuskerroksen keskimääräisessä hiilipitoisuudessa.

MT-koealojen eli Lap13:a ja Tasaikäisen koealan välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa humuskerroksen hiilen määrässä. On myös syytä muistaa että tässä tutkimuksessa metsikön pääpuulaji oli kuusi (*Picea abies*) ja edellä mainitussa Mundin (2006) -tapauksessa se oli pyökki (*Fagus sylvatica*).

4.6 Tulosten luotettavuus

Hiilidioksidivuon mittaamisen kannalta erityisen tärkeässä osassa olivat mittauspisteessä maahan upotetut kiinteät kaulukset ja sen päälle asetettu kammio. Kauluksen ja kammion täytyi olla tiivis, jotta mittaustulos olisi luotettava. Kaulukset pysyivät maassa melko hyvin, tiivisteenä käytettyä hiekkaa piti korjata toisinaan sateiden jälkeen, ja kesän aikana vain kaksi kaulusta piti asentaa kokonaan uudestaan maahan.

Jokaista mittausta varten kammio asetettiin kauluksen päälle huolellisesti, ja väliin jäävät kasvinosat poistettiin. Mittauksen aikana hiilidioksidipitoisuuden kehitystä tarkkailtiin mittalaitteen lukijasta, jotta nähtiin kasvaako se tasaisesti. Mittaus keskeytettiin jos hiilidioksidin määrä ei kasvanut tasaisesti, koska tällöin kammio ei todennäköisesti ollut tiivis. Hiilidioksidipitoisuuden palattua takaisin noin 400 ppm:n tasolle kammio asetettiin uudestaan paikoilleen ja mittaaminen aloitettiin uudestaan. Mittaustulokset tarkastettiin aina uudestaan, samalla kun tulokset siirrettiin tietokoneelle.

Hiilidioksidivuomittauksissa mahdolliset epävarmuudet liittyvät laitteistoon ja kauluksen sisälle jätettyyn kasvillisuuteen. Kammion tuuletinta pyörittävä akku hiipui

pitkien mittausjaksojen lopulla, ja on mahdollista että hidastunut ilman sekoittuminen kammion sisällä vaikutti mittaustulokseen. Suurempi epävarmuus liittyy kauluksen sisällä oleviin kasveihin. Kaulusta asennettaessa katkaistiin osa lähellä pintaa olevista juurista, ainakin aloilla jossa ei ollut paksua sammalkerrosta, jotta kaulus saatiin riittävän syvälle. Tämä tarkoittaa sitä, että kauluksen sisällä oli kuolleita ja kuolevia juuria, joten maassa tapahtuvan auto- ja heterotrofisen hengityksen suhteet olivat erilaiset kuin kauluksen ulkopuolella. Lisäksi kasvien leikkaus kesän aikana on saattanut vaikuttaa mittaustuloksiin.

Kammiomittauksiin liittyy myös epävarmuus tulosten aliarvioinnista. Raymentin (2000) ja Pumpasen (2003) mukaan suljettu kammio aliarvioi järjestelmällisesti hiilidioksidivuon suuruutta. Tämä saattaa johtua siitä, että kammion todellinen tilavuus on suurempi kuin maanpinnalla olevan varsinaisen kammion, eli tuloksiin vaikuttavaan tilavuuteen kuuluu myös maaperässä oleva ilman täyttämä tila (Rayment 2000).

Yhtenä tutkimuksen puutteena voidaan pitää koealojen pientä määrää. Edustettuna oli ainoastaan MT- ja Lehtokuusikoita, OMT-koealojen lisääminen tutkimukseen olisi ollut tärkeää jo kyseisen tyyppin yleisyyden perusteella. Vertailun vuoksi olisi myös tarvittu useammissa kehitysvaiheissa olevia eri- ja tasaikäisrakenteisia metsiköitä. Vaikka kuusikot soveltuvatkin parhaiten jatkuvaan kasvatukseen suomalaisista puulajeista, tutkimuksen kannalta olisi ollut hyvä, jos koeasetteluun olisi sisältynyt muiden puulajien metsiköitä, tai jos koealoilla olisi ollut runsaampi sekapuusto.

Käytössä olevat resurssit huomioonottaen, mittaustuloksia voidaan kuitenkin pitää riittävän tarkkoina tämän tutkimuksen tarpeisiin. Kauluksen alapuolella oleva maa pysyi mittausten alla suurimmaksi osaksi muuttumattomana, eivätkä kauluksen sisällä olleet kasvit kuolleet mittausten aikana, (osa ruohovartisista kasveista lakastui loppukesällä, mutta näitä voidaan pitää luonnollisina kuolemina).

5. Johtopäätökset

Jatkuva kasvatus ei poista maaperästä hakkuiden jälkeen vapautuvaa hiilidioksidivuopiikkiä, mutta korkeat maaperän hiilidioksidipäästöt painottuvat

hakkuissa syntyneille aukkopaikoille (valopisteet), kun taas peitteisinä säilyneillä alueilla (varjopisteet) hiilidioksidipäästöt ovat pieniä. Eri-ikäisrakenteisen metsän kyvystä varastoida tasaikäisrakenteista metsää paremmin hiiltä maaperään, ei voida vahvistaa tämän tutkimuksen perusteella, asian selvittämiseksi tarvittaisiin pitkän aikavälin seuranta. Jatkuvan kasvatuksen hakkuut muuttavat kenttäkerroksen kasvilajistoa ja -rakennetta, mikä olisi syytä ottaa huomioon, kun arvioidaan metsän tuotoskapasiteettia ja hiilensidontakykyä.

6. Kiitokset

Haluan kiittää graduni ohjaajaa Frank Berningeriä ja vastuuprofessori Annikki Mäkelää, jotka auttoivat tämän tutkielman valmistumisessa alusta loppuun, sekä Jussi Saarista ja Jukka Pumpasta avusta ja hyvistä neuvoista.

7. Läheteet

Ashton, M. S. 2012. Managing forest carbon in a changing climate. Springer, Dordrecht. 1 online resource (x, 414 p.) p

Cajander, A. K. 1925. Metsätyypiteoria. Helsinki. 84 s p.

Deluca, T. H. & Boisvenue, C. 2012. Boreal forest soil carbon: Distribution, function and modelling. *Forestry* 85(2): 161-184. 10.1093/forestry/cps003.

Gustavsson, L. & Sathre, R. 2006. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41(7): 940-951.

Hokkanen, T. J. & Ieshko, E. P. 1995. Karelian biosphere reserve studies. North Karelian biosphere reserve, Ilomantsi. IV, 267, 2 s p.

Hättenschwiler, S., Tiunov, A. V. & Scheu, S. 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution & Systematics* 36(1): 191-218. 10.1146/annurev.ecolsys.36.112904.151932.

IGBP Terrestrial Carbon Working Group. 1998. The terrestrial carbon cycle: Implications for the kyoto protocol. *Science* 280(5368): 1393-1394. 10.1126/science.280.5368.1393.

Karjalainen, T. 1996. Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products in Finland under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 80(1-3): 113-132.

Kauppi, P. E., Mielikäinen, K. & Kuusela, K. 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. *Science, Washington, D.C.* s. 70-74 p.

Kolari, P., Pumpanen, J., Rannik, Ü., Ilvesniemi, H., Hari, P. & Berninger, F. 2004. Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland. *Global Change Biology* 10(7): 1106-1119.

Kätterer, T., Reichstein, M., Andrén, O. & Lomander, A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: A critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils* 27(3): 258-262. 10.1007/s003740050430.

Lloyd, J. 1999. The CO₂ dependence of photosynthesis, plant growth responses to elevated CO₂ concentrations and their interaction with soil nutrient status, II. Temperate and boreal forest productivity and the combined effects of increasing CO₂ concentrations and increased nitrogen deposition at a global scale. *Functional Ecology* 13(4): 439-459.

Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999a. Ekometsänhoidon perusteet ja mallit. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, Vantaa. 61 s p

Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999b. Diversity-oriented silviculture in the Boreal Zone of Europe. *Forest Ecology and Management* 118(1–3): 223-243.

Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 2001. Structure transformation and volume increment in Norway spruce-dominated forests following contrasting silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management* 151(1–3): 133-138.

Microsoft. (2010). Microsoft Excel [computer software]. Redmond, Washington: Microsoft.

Mund, M. & Schulze, E. 2006. Impacts of forest management on the carbon budget of european beech (*fagus sylvatica*) forests. *Allgemeine Forst und Jagdzeitun* 177(3/4): 47-63.

Parkinson, K. J. 1981. An improved method for measuring soil respiration in the field. *Journal of Applied Ecology* 18(1): 221-228.

Post, W. M., Emanuel, W. R., Zinke, P. J. & Stangenberger, A. G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298(5870): 156-159.

Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2009. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 258(3): 207-216

Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2011. Metsän jatkuva kasvatus. Tekijät ja Joen Forest Program Consulting, Joensuu, Hyvinkää ja Parkano. 229 s p.

Pumpanen, J. 2003. CO₂ efflux from boreal forest soil before and after clear-cutting and site preparation. *Helsingin yliopiston metsäekologian laitos*, Helsinki. 51, n. 50 s p.

R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

Rayment, M. B. 2000. Closed chamber systems underestimate soil CO₂ efflux. *European Journal of Soil Science* 51(1): 107-110 doi: 10.1046/j.1365-2389.2000.00283.x

Rouvinen, S., Kuuluvainen, T. & Siitonen, J. 2002. Tree mortality in a *Pinus sylvestris* dominated boreal forest landscape in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 127-147.

Simola, S. 1995. Land-use history explains the value of the North Karelian Biosphere Reserve in preserving old-growth forest biodiversity. In: *Karelian Biosphere Reserve studies*. North Karelian Biosphere Reserve, Joensuu. p. 15–20.

Skopp, J., Jawson, M. D. & Doran, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 54(6): 1619-1625.

Tahvonen, O. 2007. Optimal choice between even- and uneven-aged forest management systems Elektroninen aineisto. Metla, Helsinki.

Tahvonen, O. 2011. Optimal structure and development of uneven-aged Norway spruce forests. *Canadian Journal of Forest Research* (12): 2389.

Tukey, J. W. 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics* 5(2): 99-114.

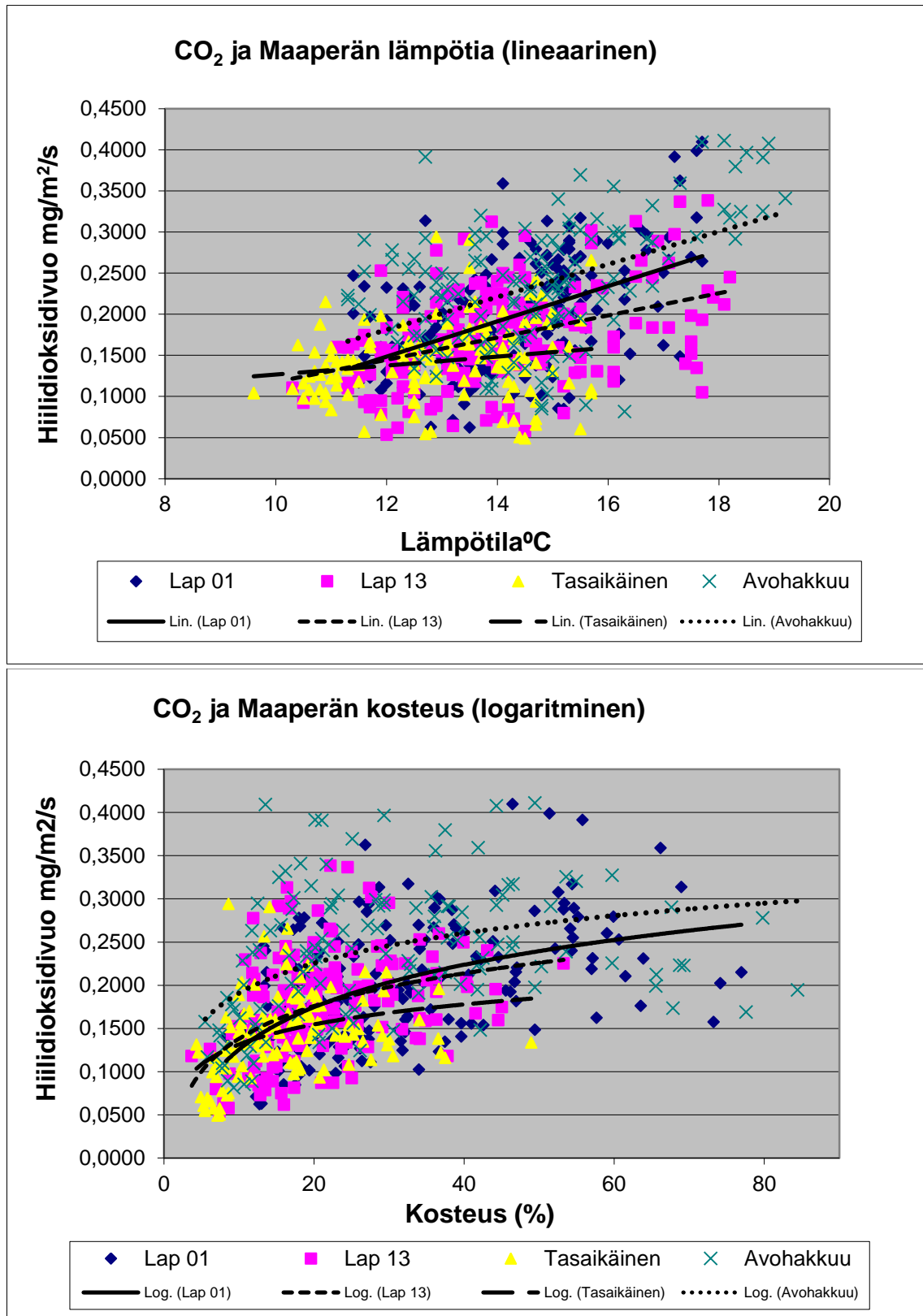
Valkeapää, A. 2009. Suomen metsät ja metsäpolitiikka : kansalaisten näkemyksiä. Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos, Helsinki. 36 s p.

Vesala, T., Suni, T., Rannik, Ü., Keronen, P., Markkanen, T., Sevanto, S. et al. 2005. Effect of thinning on surface fluxes in a boreal forest. *Global Biogeochemical Cycles* 19(2): doi: 10.1029/2004GB002316.

Wardle, D. A. cop. 2002. Communities and ecosystems : linking the aboveground and belowground components. Princeton University Press, Princeton, NJ. 392 s p.

8. Liitteet

8.1 Hiilidioksidivuon suhde maaperän lämpötilaan ja kosteuteen



8.2 Pintakasvillisuuden lajiston peittävyys mittauspisteillä

Lap01 lajien peittävyys (%), kokonaislajimäärä: **42**. Ensimmäiset seitsemän mittauspistettä ovat valopisteitä (9–27) ja loput seitsemän varjopisteitä (4–53).

	9.	10.	17.	18.	25.	26.	27.	4.	5.	12.	13.	37.	52.	53.
<i>Athyrium filix-femina</i>				19		10				3	86			
<i>Dicranum polysetum</i>								0,5	0,5					
<i>Dryopteris carthusiana</i>				8		2		4			2		2	
<i>Dryopteris expansa</i>			10											
<i>Equisetum sylvaticum</i>		0,5		1	0,1	0,5		0,5	1	0,5		5	2	6
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>						18	9	2	17	9	4	18		
<i>Hylocomium splendens</i>								0,5				0,5	0,5	
<i>Plagiochila asplenoides</i>	0,5				0,5				0,5	2		1		
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>														
<i>Pleurozium schreberi</i>								0,1	1	4		2		1
<i>Pteridium aquilinum</i>		32	20			2	10							
<i>Ptilium crista-castrensis</i>														
<i>Rhodobryum roseum</i>	0,1													
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	0,1							13		1				
<i>Alnus incana</i>														
<i>Betula pendula</i>			2											
<i>Linnaea borealis</i>														
<i>Picea abies</i>							1							
<i>Populus tremula</i>	0,5	1	2						1	0,5	1	2		2
<i>Ribes nigrum</i>														
<i>Salix phylicifolia</i>														
<i>Sorbus aucuparia</i>		4						2						
<i>Vaccinium myrtillus</i>	1		0,5									0,5	0,5	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>								0,5						
<i>Viburnum opulus</i>														
<i>Anemone nemorosa</i>	1	3	3	4	2	1	2	2	2	2		3	2	4
<i>Angelica sylvestris</i>														
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	55	11	38		21	3	0,5	9	4	5	0,5			0,5
<i>Carex globularis</i>														
<i>Carex pallescens</i>														
<i>Cirsium helenioides</i>							32							
<i>Cirsium palustre</i>														
<i>Convallaria majalis</i>			2		18	18	0,5	13	7	15	9			
<i>Deschampsia flexuosa</i>														
<i>Epilobium angustifolium</i>						5				1				
<i>Epilobium montanum</i>														
<i>Epilobium palustre</i>														
<i>Filipendula ulmaria</i>														
<i>Fragaria vesca</i>	5	0,5	2										0,5	
<i>Galeopsis bifida</i>			0,5										8	
<i>Galium boreale</i>	0,1	1	1	1	7	7	0,5	1	1	1				
<i>Galium uliginosum</i>														
<i>Geranium sylvaticum</i>	1				2	12	2			0,5				1
<i>Hepatica nobilis</i>	2	0,1										0,5		

<i>Lathyrus pratensis</i>														
<i>Lathyrus vernus</i>							4			2				8
<i>Luzula pilosa</i>												3	1	
<i>Maianthemum bifolium</i>	1	1	1		0,1			4	3	3	2	1	1	2
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	6		0,5		0,1			0,5	3					5
<i>Melica nutans</i>					0,1									
<i>Milium effusum</i>			2				1		6	0,5				
<i>Oxalis acetosella</i>	1	0,1	3	0,1	2	0,5	0,1	2	1	9	0,1	25	4	16
<i>Paris quadrifolia</i>	1													
<i>Prunella vulgaris</i>														
<i>Pulmonaria obscura</i>	2	6	3		10	16	2		2		1	4	3	
<i>Ranunculus auricomus</i>														
<i>Ranunculus repens</i>														
<i>Rubus idaeus</i>														
<i>Rubus saxatilis</i>		6	1	29	0,1	1		5	7	6	1	0,5		
<i>Solidago virgaurea</i>														
<i>Stellaria media</i>														
<i>Trientalis europaea</i>	0,1	1	2	0,5				0,5	1	1	1			0,5
<i>Tussilago farfara</i>														
<i>Veronica chamaedrys</i>		0,5			0,5					0,1			0,5	
<i>Veronica officinalis</i>														
<i>Vicia cracca</i>														
<i>Vicia sylvatica</i>	0,1	2	1	2	2	2		0,5	5	0,5				
<i>Viola mirabilis</i>	1	0,1	1		1	0,5			0,1	0,5			0,5	1

Lap13 lajien peittävyys (%), kokonaislajimäärä: **19** Ensimmäiset seitsemän mittauspistettä ovat valopisteitä (23–39) ja loput seitsemän varjopisteitä (35–52).

	22.	23.	30.	31.	32.	38.	39.	35.	36.	42.	43.	44.	51.	52.
<i>Athyrium filix-femina</i>														
<i>Dicranum polysetum</i>				0,5			0,1	2	6	8	4	2	21	4
<i>Dryopteris carthusiana</i>	2	0,5												2
<i>Dryopteris expansa</i>														
<i>Equisetum sylvaticum</i>														
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>														
<i>Hylocomium splendens</i>			2		14	51	2	72	19	7	26	20	11	18
<i>Plagiochila asplenoides</i>														
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>														
<i>Pleurozium schreberi</i>	60	95	0,5	0,5	7	6	6	11	23	81	56	16	19	48
<i>Pteridium aquilinum</i>														
<i>Ptilium crista-castrensis</i>						1				3	4	10	0,1	
<i>Rhodobryum roseum</i>														0,5
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>														
<i>Alnus incana</i>														
<i>Betula pendula</i>									2					
<i>Linnaea borealis</i>	1	4	0,1		0,5			2		0,1			0,6	1
<i>Picea abies</i>									0,1					
<i>Populus tremula</i>														
<i>Ribes nigrum</i>														

<i>Salix phylicifolia</i>														
<i>Sorbus aucuparia</i>	5	0,1	4			2							2	1
<i>Vaccinium myrtillus</i>	3	4	11	11	29	14	12	22	38	7	31	32	45	35
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			2		4		1	0,5	2		1	3	0,1	
<i>Viburnum opulus</i>														
<i>Anemone nemorosa</i>														
<i>Angelica sylvestris</i>														
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	17	13	3		0,5	12	14		0,5					2
<i>Carex globularis</i>														
<i>Carex pallescens</i>														
<i>Cirsium helenioides</i>														
<i>Cirsium palustre</i>														
<i>Convallaria majalis</i>														
<i>Deschampsia flexuosa</i>	16		0,5	20	2	18	11	4		4	2		3	
<i>Epilobium angustifolium</i>														
<i>Epilobium montanum</i>														
<i>Epilobium palustre</i>														
<i>Filipendula ulmaria</i>														
<i>Fragaria vesca</i>														
<i>Galeopsis speciosa</i>														
<i>Galium boreale</i>														
<i>Galium uliginosum</i>														
<i>Geranium sylvaticum</i>														
<i>Hepatica nobilis</i>														
<i>Lathyrus pratensis</i>														
<i>Lathyrus vernus</i>														
<i>Luzula pilosa</i>	1		1	3	0,5	2	6	7	0,5					0,5
<i>Maianthemum bifolium</i>	0,1		0,5	0,5	0,1	1	2	1	0,1	1	0,1		0,5	0,1
<i>Melampyrum sylvaticum</i>														
<i>Melica nutans</i>														
<i>Milium effusum</i>							1							
<i>Oxalis acetosella</i>														
<i>Paris quadrifolia</i>														
<i>Prunella vulgaris</i>														
<i>Pulmonaria obscura</i>														
<i>Ranunculus auricomus</i>														
<i>Ranunculus repens</i>														
<i>Rubus idaeus</i>														
<i>Rubus saxatilis</i>														
<i>Solidago virgaurea</i>														
<i>Stellaria media</i>	0,1													
<i>Trientalis europaea</i>	3	1	8	0,1		1	3	3		0,5				1
<i>Tussilago farfara</i>														
<i>Veronica chamaedrys</i>														
<i>Veronica officinalis</i>														
<i>Vicia cracca</i>														
<i>Vicia sylvatica</i>														
<i>Viola mirabilis</i>														

Avohakkuu lajien peittävyys (%), kokonaislajimäärä: 47

	A 1-I	A 1-II	A 2-I	A 2-II	A 3-I	A 3-II	A 4-I	A 4-II	A 5-I	A 5-II
<i>Athyrium filix-femina</i>										
<i>Dicranum polysetum</i>										0,1
<i>Dryopteris carthusiana</i>						3		10	0,5	
<i>Dryopteris expansa</i>										
<i>Equisetum sylvaticum</i>	13	3	6	8	8	18	6	8	18	9
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>										
<i>Hylocomium splendens</i>										0,1
<i>Plagiochila asplenioides</i>										
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>										
<i>Pleurozium schreberi</i>	0,1									0,5
<i>Pteridium aquilinum</i>										
<i>Ptilium crista-castrensis</i>										
<i>Rhodobryum roseum</i>										
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>					0,1					
<i>Alnus incana</i>										
<i>Betula pendula</i>				4	0,5	17	3	18	1	
<i>Linnaea borealis</i>										
<i>Picea abies</i>					2	13		15	19	25
<i>Populus tremula</i>										
<i>Ribes nigrum</i>							4			
<i>Salix phylicifolia</i>		2								
<i>Sorbus aucuparia</i>						4				3
<i>Vaccinium myrtillus</i>										
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>						0,5	0,1			
<i>Viburnum opulus</i>					1					
<i>Anemone nemorosa</i>										
<i>Angelica sylvestris</i>		15		5	3					
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	25	76	15	86	48	30	33	21	23	44
<i>Carex globularis</i>			3			5				
<i>Carex pallescens</i>						1				
<i>Cirsium helenioides</i>	3		3	10	7					
<i>Cirsium palustre</i>										3
<i>Convallaria majalis</i>										
<i>Deschampsia flexuosa</i>				4		1	9			
<i>Epilobium angustifolium</i>	27	4	12	5		5	6	7	15	3
<i>Epilobium montanum</i>	0,5			2		1				0,1
<i>Epilobium palustre</i>			0,1							
<i>Filipendula ulmaria</i>							12			
<i>Fragaria vesca</i>	1		1	1	1	0,1	3		2	0,5
<i>Galeopsis bifida</i>	2	0,5	3			0,1		0,5		3
<i>Galium boreale</i>										
<i>Galium uliginosum</i>								2		
<i>Geranium sylvaticum</i>					1					1
<i>Hepatica nobilis</i>										
<i>Lathyrus pratensis</i>							0,5			
<i>Lathyrus vernus</i>										
<i>Luzula pilosa</i>						1			0,5	

<i>Maianthemum bifolium</i>										0,1
<i>Melampyrum sylvaticum</i>				0,5		0,1				
<i>Melica nutans</i>					0,1		2	7		
<i>Milium effusum</i>							1	13		
<i>Oxalis acetosella</i>	0,1		0,5							1
<i>Paris quadrifolia</i>										
<i>Prunella vulgaris</i>					0,5					
<i>Pulmonaria obscura</i>										
<i>Ranunculus auricomus</i>							0,5	1		
<i>Ranunculus repens</i>							4			
<i>Rubus idaeus</i>	2		21					10		
<i>Rubus saxatilis</i>	2	3	7	3	1	2	8	0,5	5	13
<i>Solidago virgaurea</i>	2				2				0,1	0,1
<i>Stellaria media</i>										
<i>Trientalis europaea</i>	1		2			0,5			2	
<i>Tussilago farfara</i>				2	1					
<i>Veronica chamaedrys</i>					9		1	0,1		
<i>Veronica officinalis</i>					2					
<i>Vicia cracca</i>										
<i>Vicia sylvatica</i>							0,5	0,5		
<i>Viola mirabilis</i>	0,1	0,1				0,5	2	0,5	1	

Tasaikäinen lajien peittävyys (%), kokonaislajimäärä: **15**

	TI1-I	TI1-II	TI2-I	TI2-II	TI3-I	TI3-II	TI4-I	TI4-II	TI5-I	TI5-II
<i>Athyrium filix-femina</i>										
<i>Dicranum polysetum</i>	9	10	7	2	8	6	7	2	5	11
<i>Dryopteris carthusiana</i>										
<i>Dryopteris expansa</i>										
<i>Equisetum sylvaticum</i>										
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>										
<i>Hylocomium splendens</i>	19	8	21	24	10	32	26	10	7	6
<i>Plagiochila asplenioides</i>										
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>										
<i>Pleurozium schreberi</i>	66	73	60	62	31	21	49	77	20	36
<i>Pteridium aquilinum</i>										
<i>Ptilium crista-castrensis</i>										
<i>Rhodobryum roseum</i>										
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>										
<i>Alnus incana</i>										
<i>Betula pendula</i>										
<i>Linnaea borealis</i>					4	2	17	3	8	
<i>Picea abies</i>			0,1							
<i>Populus tremula</i>										
<i>Ribes nigrum</i>										
<i>Salix phylicifolia</i>										
<i>Sorbus aucuparia</i>									3	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	3	2	0,5		33	6	7	24	26	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>									2	
<i>Viburnum opulus</i>										

<i>Anemone nemorosa</i>										
<i>Angelica sylvestris</i>										
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	0,1	2	7	2	0,5	1	9		9	
<i>Carex globularis</i>										
<i>Carex pallescens</i>										
<i>Cirsium helenioides</i>										
<i>Cirsium palustre</i>										
<i>Convallaria majalis</i>										
<i>Deschampsia flexuosa</i>	0,5	0,1								
<i>Epilobium angustifolium</i>							0,1			
<i>Epilobium montanum</i>										
<i>Epilobium palustre</i>										
<i>Filipendula ulmaria</i>										
<i>Fragaria vesca</i>										
<i>Galeopsis bifida</i>										
<i>Galium boreale</i>										
<i>Galium uliginosum</i>										
<i>Geranium sylvaticum</i>										
<i>Hepatica nobilis</i>										
<i>Lathyrus pratensis</i>										
<i>Lathyrus vernus</i>										
<i>Luzula pilosa</i>	0,5			0,5	0,5				0,5	2
<i>Maianthemum bifolium</i>	2	3	0,1	0,5	0,1	0,1	14			
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	3	10	51	23	34	17	15	6	31	2
<i>Melica nutans</i>										
<i>Milium effusum</i>										
<i>Oxalis acetosella</i>										
<i>Paris quadrifolia</i>										
<i>Prunella vulgaris</i>										
<i>Pulmonaria obscura</i>										
<i>Ranunculus auricomus</i>										
<i>Ranunculus repens</i>										
<i>Rubus idaeus</i>										
<i>Rubus saxatilis</i>										
<i>Solidago virgaurea</i>										
<i>Stellaria media</i>										
<i>Trientalis europaea</i>			0,1			0,1	4			
<i>Tussilago farfara</i>										
<i>Veronica chamaedrys</i>										
<i>Veronica officinalis</i>										
<i>Vicia cracca</i>										
<i>Vicia sylvatica</i>										
<i>Viola mirabilis</i>										